

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO

FRANCIANI RODRIGUES DA SILVA

**CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL: EFEITOS NOS ATRIBUTOS DE
SOLOS ÁCIDOS E NA CULTURA DO EUCALIPTO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências
Agroveterinárias, Universidade do Estado de
Santa Catarina, para obtenção do título de
Mestre em Manejo do Solo.

Orientador: Dr. Jackson Adriano Albuquerque
Co-orientador: Dr. Luciano Colpo Gatiboni

LAGES, SC

2008

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Silva, Franciani Rodrigues da

Cinza de biomassa florestal: efeitos nos atributos de
solos ácidos e na cultura do eucalipto. / Franciani Rodrigues
da Silva -- Lages, 2008.

67 p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências
Agroveterinárias / UDESC.

1. Resíduos industriais. 2. Celulose. 3. Eucalipto.
I. Título.

CDD – 631.42

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO

**CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL: EFEITOS NOS ATRIBUTOS DE
SOLOS ÁCIDOS E NA CULTURA DO EUCALIPTO**

Franciani Rodrigues da Silva
Engenheira Agrônoma

Aprovado em:/...../.....

Homologado em:/...../.....

Banca Examinadora:

Dr. Jackson Adriano Albuquerque
Orientador – UDESC/Lages – SC

Dr. Osmar Klauberg Filho
Coordenador do Curso de Mestrado e
Doutorado em Manejo do Solo e
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências Agrárias – UDESC/Lages - SC

Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Co-orientador – UDESC/Lages - SC

Dr. Adil Knackfuss Vaz
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

Dra. Márcia Aparecida Simonete
Departamento de Pesquisa Florestal
KLABIN S.A.
Telêmaco Borba - PR

Dr. Paulo Cezar Cassol
UDESC/Lages - SC

AGRADECIMENTOS

A Deus, que é o criador do universo e responsável pela vida.

À minha querida família, em especial aos meus queridos pais, Antônio e Verônica que foram os meus primeiros e maiores mestres, os quais me ensinaram valores dignos e honestos e que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos, me apoiando, me incentivando, me dando forças para seguir em frente e nunca desistir.

Ao meu irmão Jóbis e minha cunhada Taymara que, apesar da distância, sempre estiveram muito presentes.

Ao meu amado noivo Neto, agradeço pelo carinho, atenção, compreensão e pelas palavras sempre bem vindas nos momentos de aflição.

Ao meu orientador e professor, Dr. Jackson Adriano Albuquerque, pela orientação durante minha vida acadêmica, que com seriedade contribuiu na elaboração desse trabalho.

Ao professor Dr. Luciano Colpo Gatiboni, pela competência, disposição e atenção despendida durante a realização desse trabalho.

Ao professor Dr. Jéferson, pela assistência em estatística.

Aos funcionários da UDESC: Fátima, Henrique (Pipoca) e Alcir, pela colaboração nas análises de laboratório e por estarem sempre dispostos a ajudar.

Aos professores do mestrado de Pós-Graduação em Manejo do Solo pelas informações adquiridas e convívio durante o curso.

Aos amigos: James, Danielle, Joni, Gobbi, Rodrigo, Tatiana, Claudia e Andréia, obrigada pela amizade, pelos momentos de descontração e por compartilharem comigo mais essa etapa de minha vida.

Aos bolsistas e estagiários do laboratório de física e manejo do solo: Jacson Marcelo Marangoni, Ricardo Pereira, Celso Córdova, Adriano da Costa, Dreyce Bueno e Aurélio Rodrigues, os quais foram fundamentais para a realização das análises em laboratório.

Aos professores membros da banca por estarem presentes nesta etapa.

À UDESC como instituição de ensino gratuito e de qualidade.

À CAPES, pela bolsa de estudos.

À FAPESC e a Klabin pelo auxílio financeiro ao projeto.

A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse sonho, muito obrigada!

RESUMO

Na obtenção da celulose são gerados resíduos sólidos e líquidos, os quais necessitam de alternativas e destinos viáveis. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de resíduos produzidos pelas indústrias de papel e celulose em solos do planalto catarinense. Foram conduzidos dois experimentos. No experimento I avaliou-se o efeito da aplicação de doses crescentes de cinza de biomassa florestal, incorporados num Cambissolo Húmico Álico e num Nitossolo Háplico em casa vegetação, correspondente a 0, 3, 6, 12, 18 e 24 t ha⁻¹, sendo que a dose de 12 t ha⁻¹ adiciona a mesma quantidade de Ca contida em uma tonelada de calcário. Em todos eles foram plantadas mudas de *Eucalyptus viminalis*. No experimento II avaliou-se o efeito da aplicação de calcário, NPK e cinza de caldeira de biomassa florestal num Cambissolo Húmico Álico em casa de vegetação. Os tratamentos foram: dose de cinza correspondente a 50% e 100% do suprimento de Ca contidos no calcário, mais adubo solúvel (NPK); doses de calcário correspondente a 0,5 e 1 SMP para elevar o pH do solo à 5,5, mais adubo solúvel (NPK); e a mistura de cinza de biomassa florestal mais calcário e adubo solúvel (NPK); em todos eles foram plantadas mudas clones de *Eucalyptus dunii*. Nos dois experimentos foram avaliados os atributos químicos e físicos do solo, a massa seca, o desenvolvimento e a composição química da parte aérea das plantas de eucalipto. Os atributos químicos do solo foram influenciados pelo uso de NPK, cinza de biomassa florestal e calcário. A cinza elevou os teores de K, P, Ca, Mg, a soma de bases e a saturação por bases, mas elevou pouco o pH do solo. Os atributos físicos do solo não foram afetados pelas doses de cinza de biomassa florestal. A produção de massa seca e os teores de nutrientes nas plantas foram semelhantes entre os tratamentos que receberam NPK, calcário e cinza e todos diferiram da testemunha. A aplicação de doses crescentes de cinza aumentou apenas o teor de K na parte aérea das plantas.

Palavras-chave: Resíduo industrial. Cinza. Celulose. eucalipto.

ABSTRACT

The process to obtain cellulose generates solid and liquid residues that need viable alternatives and destination. The objective of this study was to evaluate the effect of the application of by-products generated in the pulp and paper industries on soils from Santa Catarina plateau. Two experiments were done. In the experiment I the effect of crescent doses of forest biomass ash application, incorporated to a Cambissol Humic and a Nitosols Haplic, under greenhouse conditions, was evaluated. The doses were 0, 3, 6, 12, 18 and 24 t ha⁻¹. The treatment 12 t ha⁻¹ is equivalent to the same content of Ca supplied by a ton of lime. *Eucalyptus viminalis* were planted in all treatments. In the experiment II the effect of lime, NPK and forest biomass ash application on a Cambissol Humic, under greenhouse conditions, were evaluated. The treatments were: ash rates corresponding to 50% and 100% of Ca supply from the lime, with soluble fertilizer (NPK); lime rates corresponding to 0.5 and 1 SMP to elevate soil pH to 5,5, with soluble fertilizer (NPK); and a mixture of forest biomass ash and lime, with soluble fertilizer (NPK). *Eucalyptus dunii* were planted in all treatments. In both experiments, the soil physical and chemical attributes were evaluated, as well as, dry mass, plant development and chemical composition of *Eucalyptus* shoots. Soil chemical attributes were affected by the use of NPK, forest biomass ash and lime. The ash forest biomass increased K, P, Ca and Mg contents, sum of bases and bases saturation but the soil physical attributes were not affected. Dry mass production and nutrient contents in plants were similar between the treatments that had NPK, lime and ash application, and all of them were different from the control. The application of forest biomass ash only increased K contents in the plants shoots.

Keywords: Industrial residues. Ash. Cellulose. *Eucalyptus*.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Composição química, granulométrica e mineralógica do Cambissolo Húmico Álico, da camada de 0 a 0,20 m de profundidade, em Lages, SC.....24
- Tabela 2 -Análise química da cinza de biomassa florestal da indústria de papel e celulose Klabin S.A./SC.....25
- Tabela 3 -Análise química da cinza de biomassa florestal da indústria de papel e celulose, Klabin S.A./SC.....41
- Tabela 4 - Teste multivariados dos efeitos simples no solo, com o teste F, para comparação dos contrastes testados pela estatística de Wilk's.....55

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Fluxograma do processo de geração da cinza de biomassa. Adaptado de Martins (2006).....15
- Figura 2 - Fluxograma do processo de produção da celulose e recuperação dos elementos químicos. Adaptado de Pöyrykiö et al. (2006).....20
- Figura 3 - Valores de pH de um Cambissolo e Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A em Lages-SC.....28
- Figura 4 - Teores de alumínio (Al^{+3}) de um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC. (** significativo a 1% de probabilidade).....29
- Figura 5 - Teores de cálcio (Ca) em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC. (** significativo a 1% de probabilidade).....29
- Figura 6 - Teores de magnésio (Mg) em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC. (** significativo a 1% de probabilidade).....30
- Figura 7 - Relação Ca/Mg em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC.....31
- Figura 8 - Teores de potássio (K) em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC. (** significativo a 1% de probabilidade).....32

- Figura 9 - Teores de fósforo (P) em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC. (**significativo a 1% de probabilidade).....32
- Figura 10 - Teores de Carbono Orgânico em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC. (** significativo a 1% de probabilidade).....33
- Figura 11 - Soma de Bases e saturação por Bases em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC. (** significativo a 1% de probabilidade).....34
- Figura 12 - Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_e) e Capacidade de troca de cátions potencial (CTC pH7) em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC. (* significativo a 5% de probabilidade).....35
- Figura 13 - Grau de floculação e Diâmetro médio geométrico de um Cambissolo e um Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC.....36
- Figura 14 - Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de eucalipto cultivadas em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC.....37
- Figura 15 - Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) de plantas de eucalipto cultivadas em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC.....38
- Figura 16 - Teores de potássio (K) e fósforo (P) de plantas de eucalipto cultivadas em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A, em Lages-SC. (*, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).....39
- Figura 17 - pH do Cambissolo após a aplicação de Cinza da Biomassa Florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes.....44

Figura 18 - Teores de Alumínio (a) e saturação por alumínio (b) do Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC, e seus respectivos contrastes.....	46
Figura 19 - Teores de Cálcio (Ca) do Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes.....	47
Figura 20 - Teores de Magnésio (Mg) do Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes.....	48
Figura 21 - Relação Ca/Mg do Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes.....	48
Figura 22 - Teores de Potássio (K) do Cambissolo após a aplicação de Cinza da Biomassa Florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes.....	49
Figura 23 - Teores de Fósforo (P) do Cambissolo após a aplicação de Cinza da Biomassa Florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages SC. e seus respectivos contrastes.....	50
Figura 24 - Teores de Carbono orgânico (CO) do Cambissolo após a aplicação de Cinza da Biomassa Florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC, e seus respectivos contrastes.....	51
Figura 25 - Soma de Bases (a) e Saturação por Bases (b) do Cambissolo após a aplicação de Cinza da Biomassa Florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC , e seus respectivos contrastes.....	52
Figura 26 - Capacidade de troca de cátions do Cambissolo após a aplicação de Cinza da Biomassa Florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes.....	53

Figura 27 - Grau de Floculação (%) do Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages- SC e seus respectivos contrastes.....	54
Figura 28 - Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de eucalipto cultivados em Cambissolo durante 70 dias após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes.....	56
Figura 29 - Altura das plantas de eucalipto, cultivados em Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC.....	57
Figura 30 - Teores de cálcio (Ca) em plantas de eucalipto, cultivados em Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes.....	58
Figura 31 - Teores de magnésio (Mg) em plantas de eucalipto, cultivados em Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes.....	58
Figura 32 - Teores de potássio (K) em plantas de eucalipto, cultivados em Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes.....	59
Figura 33 - Teores de fósforo (P) em plantas de eucalipto, cultivados em Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes.....	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	16
1.2 HIPÓTESE.....	16
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 Geral.....	16
1.3.2 Específicos.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3 EXPERIMENTO I: UTILIZAÇÃO DE DOSES DE CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL EM SOLOS: EFEITOS EDÁFICOS E DESENVOLVIMENTO DE EUCALIPTO.....	24
3.1 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
3.2.1 Atributos químicos e físicos do solo.....	27
3.2.2 Produção de matéria seca e teor de nutrientes do tecido vegetal das plantas de eucalipto.....	36
4 EXPERIMENTO II: UTILIZAÇÃO DE CINZA DE BIOMASSA, CALCÁRIO E NPK: EFEITO EDÁFICOS E DESENVOLVIMENTO DE EUCALIPTO.....	40
4.1 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.2.1. Atributos químicos do solo.....	43
4.2.2 Produção de matéria seca e teor de nutrientes do tecido vegetal das plantas de eucalipto.....	55

5 CONCLUSÕES61

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....62

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos dez anos a produção mundial de papel cresceu 35%, sendo que em 2007 o Brasil produziu nove milhões de toneladas de papel e onze milhões de toneladas de celulose, ocupando a posição de sétimo maior fabricante mundial de celulose, atividade que contribuiu significativamente no aumento do Produto Interno Bruto (PIB) do país (BRACELPA, 2007).

Com a crescente produção de papel e celulose e a busca pela obtenção da qualidade dos produtos, as indústrias do setor têm gerado grandes quantidades de resíduos líquidos e sólidos. Resíduos das indústrias de base florestal são as sobras que ocorrem no processamento mecânico, físico ou químico e que não são incorporadas ao produto final (BELLOTE et al., 1998). No caso da celulose, a casca da madeira, a lama de cal, o dregs, o grits, o lodo da estação de tratamento de esgoto, o lodo biológico, o resíduo celulósico e a cinza de caldeira resultante da queima de biomassa são os principais resíduos produzidos.

A cinza de biomassa florestal tem tido destaque tanto pelas quantidades produzidas, em torno de 300 t mês, como pelas suas características físicas e químicas. A cinza é o material proveniente da queima da biomassa florestal, que não serve como fonte de celulose e é utilizada como fonte de energia na caldeira. Para converter madeira em cinza de biomassa florestal, a madeira passa por vários processos de transformação após a sua chegada à fábrica. Primeiramente ocorre o descascamento da madeira, e esta é transformada em cavacos por meio de um picador. Após a picagem, os materiais de partículas inferiores a oito cm de diâmetro são separados dos cavacos. Os cavacos maiores são repicados e os finos são utilizados como combustível na caldeira de biomassa, produzindo assim energia térmica para

a produção de vapor, gerando nesta etapa o resíduo cinza da caldeira de biomassa, conforme exposto na Figura 1 (MARTINS, 2006).

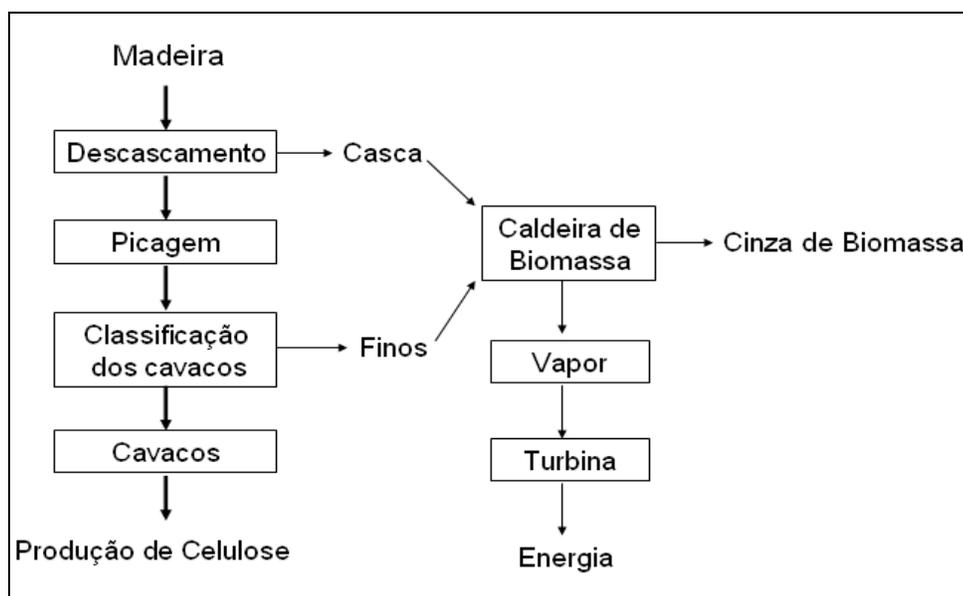


Figura 1 - Fluxograma do processo de geração da cinza de biomassa. Adaptado de Martins (2006).

Existe possibilidade de utilização de cinza de biomassa florestal em solos destinados à agricultura, uma vez que, além da grande oferta, esse material contém nutrientes essenciais às culturas, garantindo assim incrementos na fertilidade dos solos.

Considerando que a cinza de biomassa florestal tem sido utilizada como fonte de nutrientes nos sistemas agroflorestais, a abundância de cinzas produzida pelas indústrias do ramo papeleiro e a carência de estudos com base científica que caracterizem esse resíduo, faz-se necessário estudos específicos, definido assim seus efeitos sobre o solo e desenvolvimento de culturas, bem como as quantidades de aplicação indicadas para diferentes solos.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A indústria de papel e celulose gera vários tipos de resíduos com composição química variada. Aproximadamente 48 toneladas de resíduos são geradas para cada 100 toneladas de celulose produzida, e isso poderá causar problemas de ordem ambiental, devido a não existência de locais adequados para a deposição dos resíduos (BELLOTE,1998). Com isso, faz-se necessário o estudo e desenvolvimento de técnicas para o reaproveitamento do resíduo industrial e redução do problema ambiental da cadeia produtiva do papel. A utilização dos resíduos em áreas agrícolas pode ser uma alternativa para melhorar a fertilidade do solo e resultar em ganhos de produtividade, principalmente na área florestal. Porém, para isto, estudos mais aprofundados são necessários, desde o conhecimento da composição qualitativa e quantitativa, até seu efeito sobre os atributos do solo e crescimento das plantas.

1.2 HIPÓTESE

A cinza de biomassa proveniente da indústria de papel e celulose, em doses adequadas, aumenta a fertilidade do solo e eleva o crescimento do eucalipto.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Geral

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o uso da cinza de biomassa florestal como fertilizante em um Cambissolo Húmico Álico e em um Nitossolo Háplico, cultivado com *Eucalyptus dunii* e *Eucalyptus viminalis* em casa de vegetação.

1.3.2 Específicos

- ✓ Avaliar o crescimento das plantas de *Eucalyptus dunii* e *Eucalyptus viminalis*, seus teores nutricionais após a aplicação do calcário, adubo mineral (NPK) e cinza de biomassa florestal;
- ✓ Avaliar os atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico Álico submetido à aplicação de doses crescentes de cinza de biomassa florestal mais calcário e NPK, aplicados em superfície ou incorporado ao solo;
- ✓ Avaliar os atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico Álico e de um Nitossolo Háplico, submetido à aplicação de doses crescentes de cinza de biomassa florestal incorporada ao solo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A área ocupada por florestas plantadas com pinus e eucalipto no Brasil no ano de 2006 atingiu cerca de 5.373.000 ha, com o eucalipto ocupando uma área de 3.549.148 ha (ABRAF, 2006). A grande maioria das áreas florestais de eucalipto encontra-se plantadas em solos do grupo franco a franco arenoso (STAPPE et al., 1988). Tais solos possuem baixa CTC e fertilidade natural e altas perdas por lixiviação. Entretanto, esses solos florestais têm boas propriedades para receber resíduos orgânicos, como a presença de serrapilheira com uma quantidade grande de carbono orgânico que pode imobilizar o nitrogênio disponível, grande taxa de infiltração, que minimiza o escoamento superficial e um sistema de raízes perenes, que permitem a extração de nutrientes durante o ano todo (HARRISON et al. 2003). Por outro lado, os solos do Planalto Catarinense possuem pH baixo, CTC média/alta e altos teores de matéria orgânica, tendo com isso necessidade de doses elevadas de corretivos (ERNANI & ALMEIDA, 1986), fazendo com que a exploração com eucalipto nesses solos demandem manejos de solo diferenciados. A correção desses solos é necessária para melhorar a fertilidade, aumentar a disponibilidade de nutrientes e a capacidade de retenção de água e de cátions no solo (BELLOTE, 1998).

Devido à elevação dos custos de aquisição e aplicação de fertilizantes minerais, os silvicultores procuram meios alternativos de manejo florestal, com intuito de reduzir custos (MORO, 1995). Acredita-se que haja potencial dos resíduos da indústria de papel e celulose como fonte de nutrientes e como agentes capazes de melhorar as condições físicas e químicas do solo, principalmente em solos de baixa fertilidade com menor custo dos insumos.

Os resíduos de origem industrial de fábricas de papel e celulose variam em composição química e quantidade segundo o processo utilizado para a extração da celulose e produção do papel (NOLASCO et al. 2000). Roda (1991) afirma que a maior parte dos resíduos sólidos gerados em indústrias de papel e celulose consiste em fibras que escapam do processo e o restante é composto de sais inorgânicos, casca e fragmentos de madeira que são geralmente armazenados em depósitos próximos à indústria.

As fábricas de papel e celulose convertem madeira em polpa celulósica, havendo a separação das fibras da madeira, ou seja, removem a lignina. Para isso, a madeira passa por processos sendo o principal o químico, normalmente chamado de processo "KRAFT". Esse processo dissolve, em meio fortemente alcalino, a lignina, hemicelulose e extrativos com exceção das fibras de celulose, e a solubilização do material orgânico origina um licor preto, que contém os elementos químicos. Para a recuperação dos reagentes químicos, o licor preto é transformado em licor verde e finalmente em licor branco, através de evaporadores e filtros que concentram os resíduos sólidos. Nesse processo, o óxido reage com água, formando hidróxido de cálcio e a seguir com o carbonato de sódio, gerando carbonato de cálcio e hidróxido de sódio. Assim, grandes quantidades de diferentes resíduos são produzidas como: dregs, grits, lama de cal e lodo orgânico da estação de tratamento de efluentes. A esquematização da produção desses resíduos está exposta na Figura 2.

Os componentes orgânicos e inorgânicos, dos resíduos sólidos provenientes da indústria de celulose, como a cinza de biomassa, a lama de cal, o dregs e o grits podem ter efeitos positivos, especialmente em solos que apresentam baixos conteúdos de matéria orgânica e nutrientes (JORDAN et al., 2002). Em estudos realizados por Albuquerque et al. (2002) observou-se que a aplicação de Dregs em superfície aumentou o pH e os teores de potássio e cálcio e reduziu os teores de alumínio na camada superficial de um Latossolo

Bruno e de um Cambissolo Húmico. Resultados semelhantes foram observados por Guerrini et al. (1994), quando utilizaram um Latossolo Vermelho-Escuro.

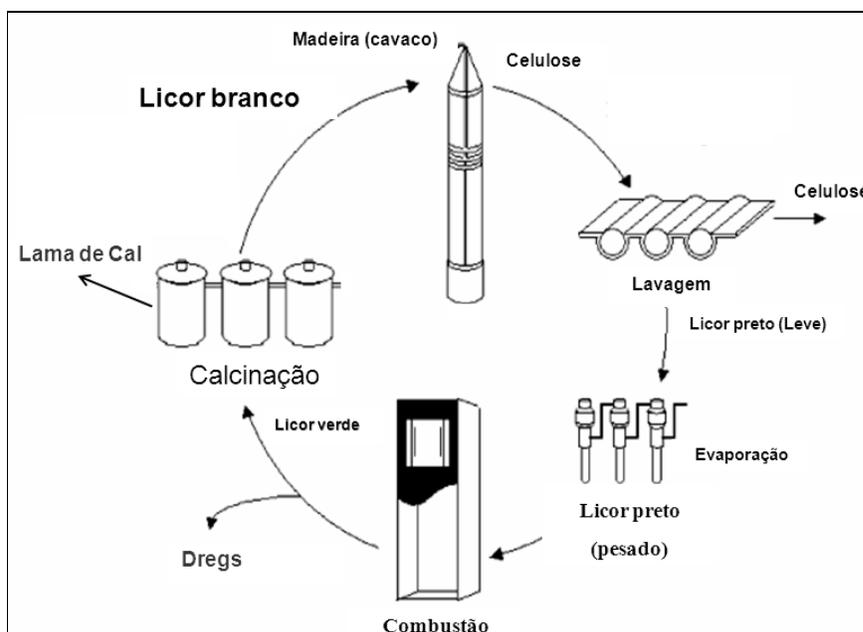


Figura 2 - Fluxograma do processo de produção da celulose e recuperação dos elementos químicos. Adaptado de Pöyry et al. (2006).

O uso agrônomo de resíduos da indústria de celulose, mais especificamente a cinza de biomassa florestal, pode favorecer a obtenção de mudas de qualidade e, ainda resolver problemas da indústria com a alocação deste resíduo, imprimindo sustentabilidade nos sistemas de produção, com interação agricultura/indústrias (PRADO et al., 2002). A cinza da biomassa florestal contém cátions como o K, Ca e Mg, e pode ser usada para repor nutrientes em solos de florestas. Por outro lado, a cinza produzida também pode conter elementos traços como Cd e Zn, embora o teor desses íons na cinza de madeira seja geralmente baixo (OSTERAS et al., 2005). Esse resíduo tem como características principais, altos teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio e uma relação C/N de 30/1 (BELLOTE et al., 1998).

A cinza de biomassa possui em sua composição química elementos capazes de neutralizar a acidez do solo (SANTOS et al., 1995a). Desse modo, a cinza possui efeito

fertilizante e corretivo do solo (DAROLT et al., 1993), cujos efeitos podem diferir dependendo do tipo de solo. A cinza, quando aplicada ao solo, possui efeito equivalente a 30% do carbonato de cálcio, possuindo em alguns casos eficiência semelhante ao calcário (GUERRINI et al., 1994). No entanto, deve-se salientar que a eficiência de um corretivo da acidez depende de seu conteúdo em material neutralizante, de sua granulometria e da natureza de sua composição (RAIJ et al., 1991).

Por outro lado, segundo Nurmesniemi et al. (2005), nem todos os resíduos da indústria de papel e celulose podem ser utilizados, devido os possíveis impactos ambientais causados por esses resíduos, além de possíveis problemas na estrutura física do solo. Para identificar sua potencialidade de uso agrícola e suas possíveis limitações, o uso de resíduos em solo deve ser precedido da determinação da composição química do resíduo e do solo, além da mineralogia e textura do solo (ALBUQUERQUE et al., 2000; REICHERT & NORTON, 1996). Após adicionarem resíduos industriais ricos em sulfatos e cálcio em solos de carga variável, Reichert & Norton (1996) observaram aumento na infiltração e redução na erosão em alguns solos devido a maior flocculação do solo, ocasionado principalmente pelo Ca no solo. A saturação do solo com cátions bivalentes diminui a dispersão, enquanto a elevada saturação por sódio aumenta a dispersão da argila (CHARLET & SPOSITO, 1989; BENCHUR et al., 1992; MILLER & BAHARUDDIN, 1986; SHAINBERG & SINGER, 1988), principalmente quando a concentração do eletrólito é baixa (AGASSI et al., 1981).

Estudos realizados por Bellote et al. (1994) constataram que os tratamentos que receberam as maiores quantidade de cinza de biomassa (50 t ha^{-1}), além de aumentar os teores nutricionais no solo, aumentaram os teores foliares de fósforo, potássio, cálcio e magnésio no *Eucalyptus grandis*. Guerrini & Moro (1994) também constataram efeitos positivos com a aplicação de resíduo celulósico e cinza em plantios de *Eucalyptus grandis* e observaram aumentos significativos nos teores de fósforo, cálcio, magnésio, CTC e saturação de bases

(V%) no solo. A cinza de biomassa florestal aplicada nas doses de 5, 10, 20, 25 e 30 t ha⁻¹ teve efeito positivo nas propriedades químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo, o que sugere seu uso como fonte de nutriente (VOGEL et al., 2003). Assim, este produto poderia substituir ou complementar a adubação química, com aumento da produtividade das florestas (BELLOTE et al., 1994; MORO et al., 1995). Para Nolasco et al. (2000) o efeito benéfico da cinza usada como fertilizante de base no plantio da cultura e, principalmente, como fertilizante de cobertura, é resultado do modo mais equilibrado e da forma mais lenta de solubilização dos macro e micronutrientes.

Efeitos benéficos da adição de cinza de biomassa sobre várias culturas foram constatados. Sofiatti et al. (2007), observaram que a cinza de biomassa florestal aumentou significativamente a produção e o crescimento da cultura do algodoeiro. Aumento na altura e no diâmetro de plantas de mamona com adição de doses crescentes de cinza de biomassa florestal foi relatado por (LIMA et al., 2006).

A cinza de biomassa, quando aplicada em doses consideradas ideais, pode aumentar a retenção de água do solo. Esse resíduo melhora as propriedades físicas do solo, aumenta a matéria orgânica e assim melhora a retenção de água pelo solo (BELLOTE et al., 1998). Sendo assim, os mesmos autores comprovaram que a cinza de biomassa florestal, na dose de 50 t ha⁻¹ aumentou a capacidade de retenção de água à medida que o potencial de água no solo aumentou.

Com base no exposto, pode-se concluir que a aplicação de cinza de biomassa florestal, em solos agrícolas, é uma forma de reposição dos nutrientes exportados do solo pelas culturas. A utilização de cinza de biomassa florestal reduz a necessidade do uso de fertilizantes químicos, contribuindo para a redução da acidificação do solo e aumento do suprimento de cálcio. Desse modo, é necessário conhecer a composição química deste resíduo

e a dose adequada para cada cultura, evitando-se deficiências induzidas devido ao excesso de alguns nutrientes como Ca e Mg, que competem significativamente com outros cátions.

Existe grande carência de estudos com base científica que avaliem a eficácia do uso da cinza de biomassa florestal como fonte de nutrientes para as plantas. Contudo, outros tipo de cinza têm sido alvo de estudos por vários autores, como cinza de casca de arroz (PAULETTO et al., 1990; BERNI, 2001; SILVA et al., 2008) e cinza de carvão-de-pedra (GOEPFERT et al.,1980).

Na região de Otacílio Costa – SC, agricultores situados em áreas próximas a indústrias de papel e celulose, estão utilizando o dregs a lama de cal e a cinza de biomassa florestal como corretivo de acidez e fertilizante, sem quaisquer critérios de quantificação, principalmente devido ao fato de apresentar baixo custo de aquisição. Isso torna a utilização destes produtos um risco para o meio ambiente, pois pode acarretar problemas nas propriedades físicas do solo, bem como desbalanço de nutrientes (ALBUQUERQUE et al., 2002). Sendo assim esses resíduos só devem ser incorporados ao solo quando não prejudicarem suas propriedades e características e puderem beneficiar as culturas. Outro problema é a reaplicação desses resíduos sem critérios técnicos, havendo relatos de perda significativa de produtividade em áreas onde a reaplicação de resíduos alcalinos das indústrias de celulose foi utilizada (MEDEIROS, 2008).

Diante do exposto, há necessidade de estudos para encontrar maneiras seguras do uso da cinza de biomassa em áreas agrícolas. Por isso, foram conduzidos dois experimentos para avaliar o efeito do uso de cinza de biomassa florestal da indústria de papel e celulose nos atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico Álico e um Nitossolo Háptico e na produção de massa seca e nutrição de plantas de eucalipto.

3 EXPERIMENTO I: UTILIZAÇÃO DE DOSES DE CINZA DE BIOMASSA FLORESTAL EM SOLOS: EFEITOS EDÁFICOS E DESENVOLVIMENTO DE EUCALIPTO.

3.1 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em Lages, SC, em casa de vegetação climatizada no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV- UDESC no período de maio a novembro de 2007.

Foram utilizados dois diferentes solos, um Cambissolo Húmico Álico e um Nitossolo Háplico. O Cambissolo Húmico Álico possui textura franco argilo-siltoso, derivado de siltitos da formação Rio do Rastro, coletado em local sob campo pastejado na camada superficial de 0 a 0,2 m de profundidade. Depois de coletado, o solo foi destorroado, peneirado em malha de 8 mm e acondicionado em vasos de PVC com capacidade de 10 litros.

O Nitossolo Háplico é originado da alteração do basalto, da formação Serra Geral (ALMEIDA, 1985), coletado na camada 0-0,20 m em barranco em posição de terraço coluvial (patamar de encosta), com 10% de declive, vegetação de mata com araucária. Após a coleta o solo foi destorroado, peneirado em malha de 8 mm e acondicionado em vasos de PVC com capacidade de 5 litros. Os principais atributos desses solos estão descritos na Tabela 1

Tabela 1 - Composição química, granulométrica e mineralógica do Cambissolo Húmico Álico, da camada de 0 a 0,20 m de profundidade, em Lages, SC.

Profundidade	pH _(H2O)	Ca	Mg	Al	P	K	MO	Areia	Silte	Argila	Mineralogia
-(m)--	--1:1--	---- cmol _c dm ⁻³ ----			-- mg dm ⁻³ --		---- g kg ⁻¹ ----			(Predominante)	
Cambissolo Húmico Álico											
0 - 0,20	4,2	1,1	1,1	6,6	3,2	195	28	352	301	342	Caulinita
Nitossolo Háplico											
0 - 0,20	5,0	0,6	0,3	5,0	0,7	78	29	270	430	300	Caulinita

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 4 repetições, contendo os seguintes tratamentos: Sem corretivo (Test), 3, 6, 12, 18 e 24 t ha⁻¹ de cinza de biomassa florestal. Através dos teores de Ca contidos na cinza de biomassa florestal determinaram-se as doses, sendo o tratamento 12 t ha⁻¹ equivalente à quantidade de Ca contida em 1 tonelada de calcário (CaCO₃). O resíduo tem composição descrita na Tabela 2.

Tabela 2 -.Análise química da cinza de biomassa florestal da indústria de papel e celulose Klabin S.A./SC.

Elementos	(Unidade)	Valor	Metodologia usada	Limite de detecção
pH		9,7	Potenciometria	
Carbono orgânico -	(%)	26		
Nitrogênio (TKN) -	(%)	0,16	Kjeldahl	0,01 %
Fósforo -	(%)	0,18	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01 %
Potássio -	(%)	1,3	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01 %
Cálcio -	(%)	1,9	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01 %
Magnésio -	(%)	0,53	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01 %
Enxofre -	(%)	0,10	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01 %
Cobre -	(mg kg ⁻¹)	39	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,6 mg kg ⁻¹
Zinco -	(mg kg ⁻¹)	100	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	2 mg kg ⁻¹
Ferro -	(%)	1,3	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,04 %
Manganês -	(%)	0,11	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,04 %
Sódio -	(mg kg ⁻¹)	768	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01 %
Cádmio -	(mg kg ⁻¹)	0,3	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,2 mg kg ⁻¹
Cromo -	(mg kg ⁻¹)	40	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,4 mg kg ⁻¹
Níquel -	(mg kg ⁻¹)	22	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,4 mg kg ⁻¹
Chumbo -	(mg kg ⁻¹)	4	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	2 mg kg ⁻¹
Umidade	(%)	8	Gravimetria	

Os solos dos vasos foram mantidos com umidade correspondente a 80% da capacidade de campo, com adição de água destilada, por meio de determinações semanais da massa dos vasos. Após 90 dias de incubação da cinza, plantaram-se mudas de eucalipto (*Eucalyptus viminalis*). Avaliou-se o crescimento das plantas de eucalipto, fazendo medições de altura

quinzenalmente. Decorridos 70 dias após o plantio, as plantas foram cortadas rente ao solo, separando parte aérea (folhas + caule) de raízes.

O material vegetal foi seco em estufa a 65°C até massa constante, determinando-se a produção de matéria seca da parte aérea. Após, moeu-se o material em moinho de facas, com posterior digestão sulfúrica conforme Tedesco et al. (1995). Os teores de K absorvidos foram analisados através da metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) e os teores de P absorvidos foram analisados através da metodologia descrita por (TEDESCO et al., 1995; MURPHY & RILEY 1962). Para determinação de Ca e Mg, calcinou-se tecido vegetal em estufa (JONES et al. 1990). Esse método consiste em pesar 0,500 g da planta em cadinhos de porcelana e oxidar o material orgânico numa mufla a 600°C ± 5°C durante 6 horas. Posteriormente, as cinzas foram solubilizadas por meio da adição de 20 ml de HCl concentrado. As concentrações de Ca e Mg foram quantificadas por espectrofotometria de absorção atômica.

As amostras de solo coletados foram secas em estufa a 60°C, destorroadas, moídas e passadas em peneira (2 mm), para determinação do pH em água, teores de Ca⁺², Mg⁺² e Al⁺³ trocáveis, P, K⁺ e Na⁺ extraível e carbono orgânico total (COT). O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley & Black modificado por (TEDESCO et al., 1995). Foram determinados os teores de K, Na e P extraível pelo método Mehlich-1, sendo o P quantificado com leitura da transmitância em espectrofotômetro com comprimento de onda ajustado para 660 nm e o Na e K foram quantificados por fotometria de chama. O Ca⁺² e Mg⁺² foram extraídos com solução neutra de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O Al⁺³ trocável foi determinado por titulometria de neutralização com NaOH. As determinações de pH SMP foram feitas na relação 1:1 com leituras em potenciômetro (TEDESCO et al., 1995). O H+Al estimado foi calculado conforme CQFS-

RS/SC (2004), a soma de bases (SB) e saturação por bases (V), saturação por Al (m) e CTC pH_7 foram calculados (EMBRAPA, 1997).

A estabilidade de agregados foi determinada conforme metodologia descrita por Kemper & Chepil (1965) em subamostras compreendidas entre 4,76 e 8,00 mm de diâmetro, sendo os resultados expressos pelo diâmetro médio geométrico (DMG).

Os teores de argila (AT), silte e areia total foram determinados pelo método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986) através da dispersão em água e NaOH 1M. O teor de argila dispersa (AN) foi determinado através da dispersão do solo em água para calcular o grau de floculação.

Os resultados foram submetidos à análise de variância. O fator quantitativo (dose) foi separado para cada solo e analisado através da equação de regressão, usando o polinômio significativo de maior grau, através do programa de análises estatísticas SAS (STATISTICAL ANALYSES SYSTEM, 2002).

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.2.1. Atributos químicos e físicos do solo

Com a adição de cinza de biomassa florestal, houve aumento nos teores de Ca, Mg, K, P e da SB e CTC, isso já era esperado uma vez que o resíduo continha quantidades substanciais de Ca, Mg, K e P, confirmando resultados obtidos por Moro & Gonçalves (1995). Porém não foi observado incremento no pH com a adição de cinza.

O pH dos solos (Cambissolo e Nitossolo) não foi alterado significativamente com a aplicação de doses crescentes de cinza de biomassa florestal (Figura 3), contrariando resultados anteriormente obtidos por alguns autores (DAROLT et al., 1993; GUERRINI et al., 1994; KHANNA et al., 1994; PRADO et al., 2002; SANTOS et al., 1995). A aplicação de

cinza não foi efetiva na neutralização da acidez do solo pelo fato desse resíduo apresentar PN muito baixo, em torno de 6,5%. Os solos analisados apresentam alto poder tampão, sendo necessárias elevadas quantidades de cinza de biomassa para alterar significativamente o pH, além do curto período de permanência do experimento em casa de vegetação.

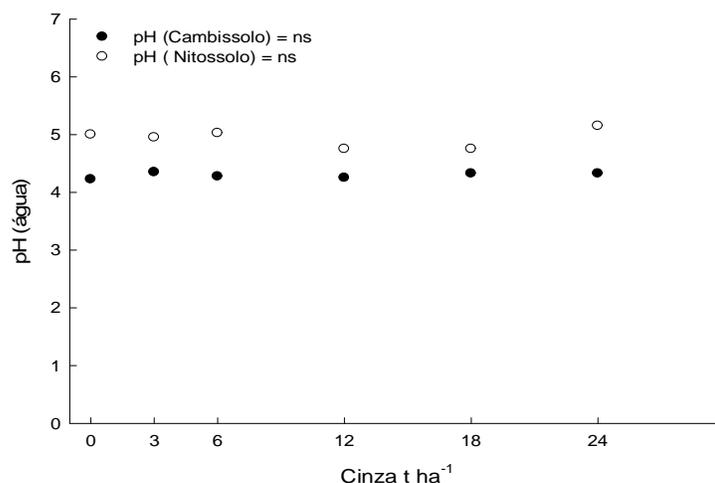


Figura 3 - pH de um Cambissolo e Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A. em Lages-SC.

Embora não tenha havido diferença estatística do pH dos solos, observou-se um decréscimo nos teores de Al no Cambissolo e no Nitossolo conforme a dose de cinza de biomassa florestal aumentou. Entretanto, os teores de Al ainda se mantiveram elevados (3,2 cmol_c kg⁻¹ no Nitossolo e 5,7 cmol_c kg⁻¹ no Cambissolo) (Figura 4). Esta redução foi linear para ambos os solos, sendo as magnitudes diferentes devido ao teor natural de Al do Cambissolo ser maior do que no Nitossolo.

A cinza aumentou linearmente a concentração de Ca nos dois solos (Figura 5). No Cambissolo os teores variaram de 1,1 cmol_c kg⁻¹ na testemunha para próximo de 1,4 cmol_c kg⁻¹ no tratamento de maior dose (24 t ha⁻¹ de cinza). Para o Nitossolo esses teores foram de 0,7 na testemunha e 1,3 cmol_c kg⁻¹ no tratamento de maior dose.

Todavia, mesmo com aumento dos teores de Ca nos solos com a aplicação da cinza, estes ficaram abaixo do nível crítico no solo ($2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) segundo (CQFS-RS/SC, 2004).

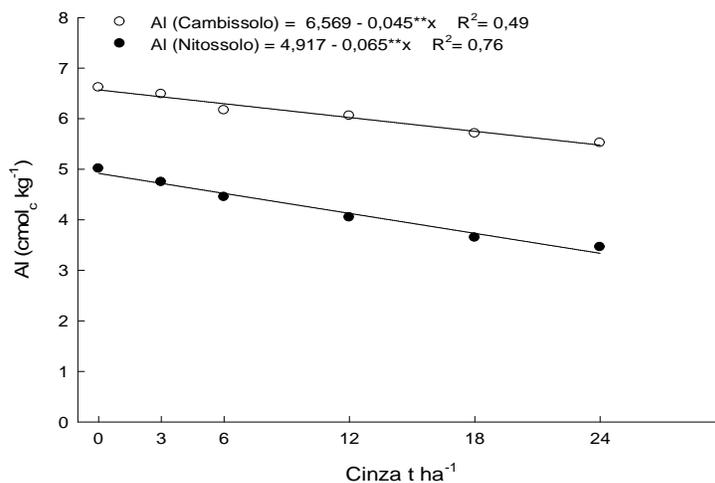


Figura 4 - Teores de alumínio (Al^{+3}) de um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages-SC. (** significativo a 1% de probabilidade).

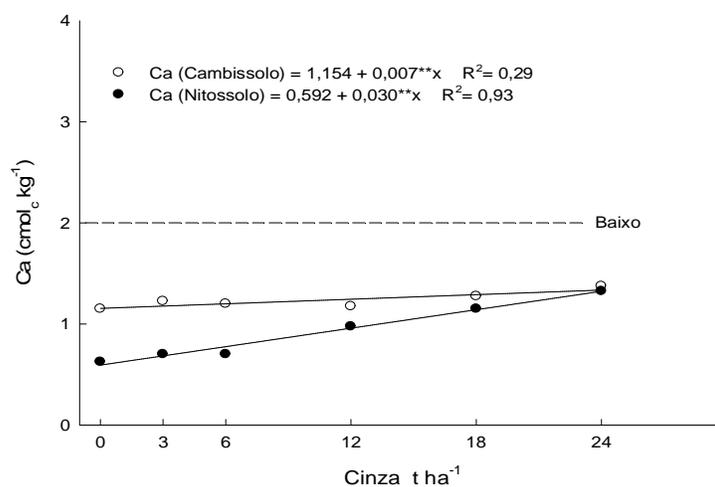


Figura 5 - Teores de cálcio (Ca) em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages-SC. (** significativo a 1% de probabilidade).

Houve aumento nos teores de Mg dos solos avaliados em função da elevação da dose do resíduo utilizado (Figura 6). O Cambissolo, por ser um solo menos intemperizado e com maior reserva de nutrientes, apresentou maiores teores de Mg. Neste solo o teor de Mg variou de 1,1 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na testemunha para próximo de 1,5 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ nos tratamentos que receberam as maiores doses de cinza, teores considerados altos (CQFS-RS/SC, 2004). Todavia, no Nitossolo esses teores ficaram abaixo do nível crítico no solo, com exceção do tratamento que recebeu a maior dose de cinza (24 t ha^{-1}).

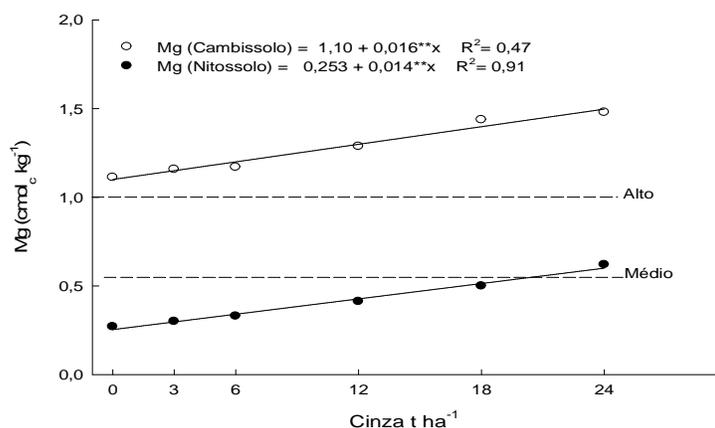


Figura 6 - Teores de magnésio (Mg) em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages-SC. (**significativo a 1% de probabilidade).

Com o aumento da dose da cinza, não houve alteração significativa da relação Ca/Mg do solo (Figura 7). A qual está abaixo do limite considerado crítico para o desenvolvimento normal das plantas, que é de 4:1 (ROSOLEM et al., 1984). No entanto, para Malavolta (1980), a relação deve estar abaixo de 7:1 e para a CQFS-RS/SC (2004) os limites aceitáveis da relação Ca/Mg ficam próximos a 5:1.

Entretanto, o rendimento da maior parte das culturas não é afetado por relação Ca/Mg variando de 0,5 até aproximadamente 10, desde que nenhum dos dois nutrientes esteja em deficiência (CQFS-RS/SC, 2004).

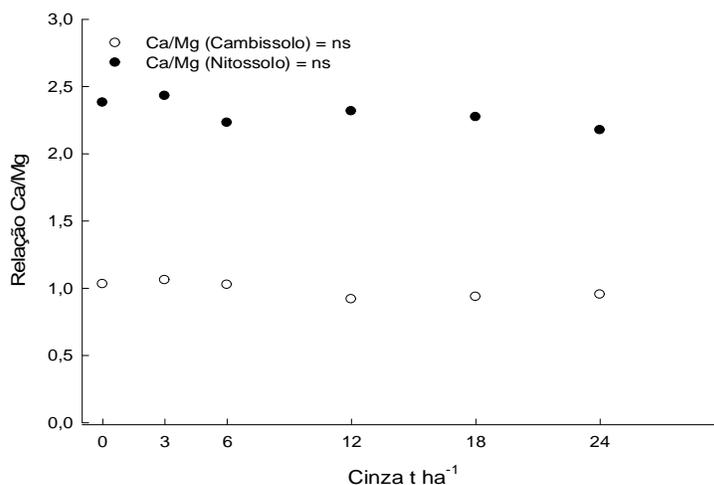


Figura 7 - Relação Ca/Mg em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages-SC.

Para o potássio, houve um aumento linear com o aumento das doses de cinza de biomassa, nos dois solos estudados (Figura 8). Os teores de K no Cambissolo aumentaram de $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na testemunha para teores próximos a $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na maior dose de cinza, teores considerados altos (CQFS-RS/SC, 2004).

No Nitossolo os teores de K variam de $0,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na testemunha para $0,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na dose máxima de cinza. Para esse solo, a adição da menor dose de cinza (3 t ha^{-1}) fez com que os teores de K no solo aumentassem para níveis acima do mínimo exigido, conforme a CQFS-RS/SC (2004).

Tanto o Cambissolo como o Nitossolo são solos que possuem óxidos de ferro como a Goethita e Hematita. Sendo assim seria aceitável uma pequena influência da cinza sobre os teores de P, devido à grande retenção e fixação do elemento nos minerais do solo. Entretanto, observaram-se aumentos expressivos dos teores de P principalmente no Cambissolo. Esses teores aumentaram de $26,8 \text{ mg kg}^{-1}$ na testemunha para $47,2 \text{ mg kg}^{-1}$ no tratamento com maior dose de cinza (Figura 9), corroborando com estudos realizados por Vogel (2000), onde a cinza

de biomassa aumentou significativamente os teores de P no solo com a adição das maiores doses do resíduo (30 t ha⁻¹).

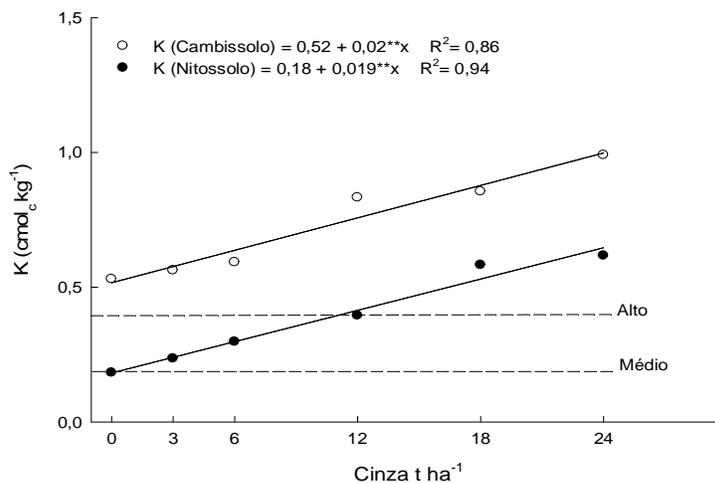


Figura 8 - Teores de potássio (K) em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages–SC. (** significativo a 1% de probabilidade).

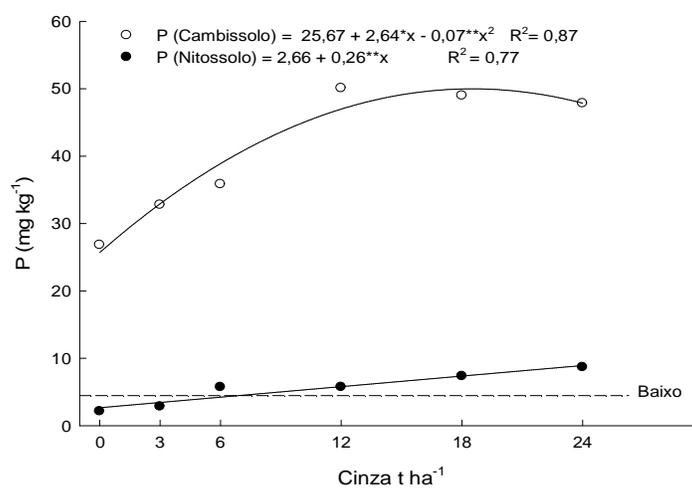


Figura 9 - Teores de fósforo (P) em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages–SC. (** significativo a 1% de probabilidade).

Para o Nitossolo, esses teores tiveram comportamento semelhante ao Cambissolo, porém em menores magnitudes. Na testemunha o teor de P foi de 2,1 mg kg⁻¹ aumentando para 8,6 mg kg⁻¹ no tratamento que recebeu 24 t ha⁻¹ de cinza. No entanto, a partir do tratamento que recebeu 6 t ha⁻¹ de cinza, os teores de P no solo ficaram acima do nível crítico conforme a CQFS-RS/SC (2004).

Sendo assim, é importante observar o poder expressivo da cinza na liberação de P, aumentando sua disponibilidade no solo, principalmente nas maiores dosagens de cinza.

Os teores de CO no solo foram significativos com o aumento das doses (Figura 10), podendo este fato estar relacionado com a composição do resíduo, que contém carbono orgânico.

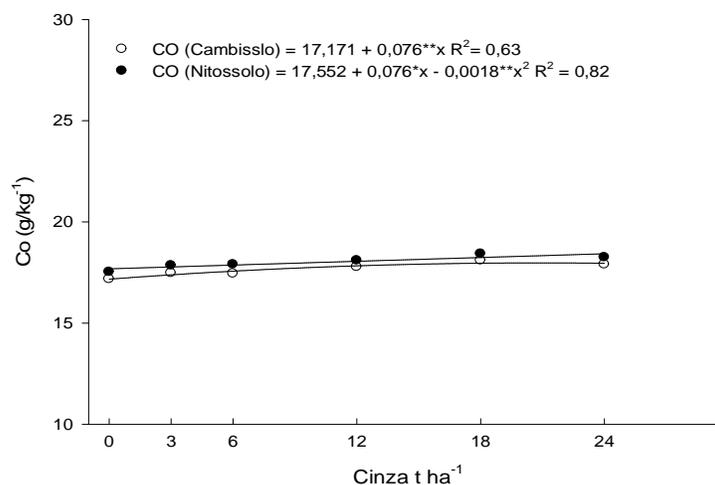


Figura 10 - Teores de Carbono Orgânico em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages-SC. (** significativo a 1% de probabilidade).

Com a adição de cinza de biomassa florestal, houve aumento dos teores de Ca, Mg, K e P, conseqüentemente ocorreram aumentos significativos da soma e saturação por bases (Figura 11). Tanto o Cambissolo como o Nitossolo são solos naturalmente deficientes em bases trocáveis, e com adição do resíduo, ocorreu a elevação da SB de 2,8 para 4,0 cmol_c kg⁻¹

no cambissolo e de $1,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para $2,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no Nitossolo. Com estas alterações a saturação por bases no Nitossolo aumentou de 7% na testemunha para 16% no tratamento que recebeu a maior dose de cinza (24 t ha^{-1}). No Cambissolo a saturação por bases aumentou de 17% na testemunha para 25% no tratamento com a maior dose do resíduo.

No entanto, na recomendação para elevar a saturação por bases à 65% (CQFS-RS/SC, 2004), isso seria insuficiente, mas pode contribuir para a nutrição das plantas, especialmente o eucalipto que é muito exigente em fertilidade química.

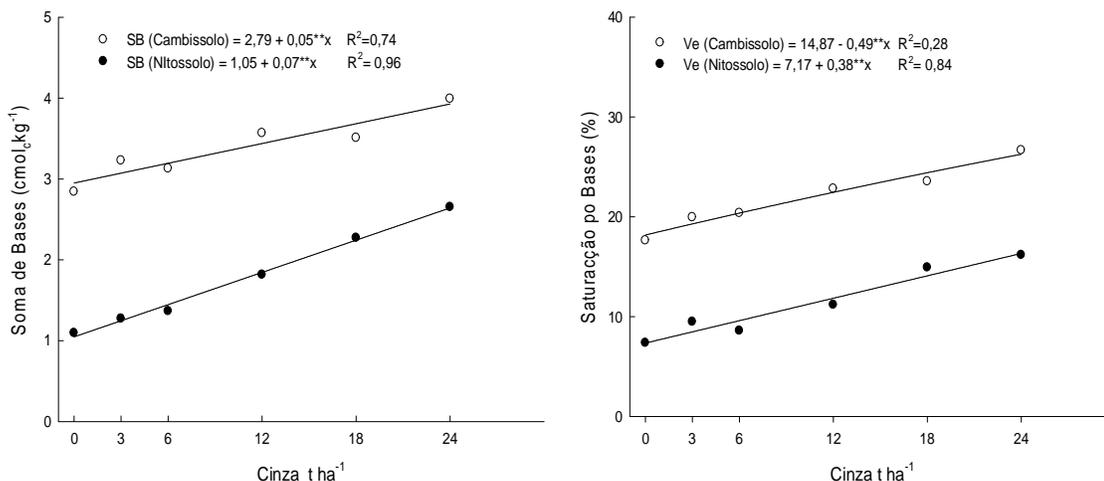


Figura 11 - Soma de Bases e saturação por Bases em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages-SC. (** significativo a 1% de probabilidade).

A capacidade de troca de cátions efetiva não foi afetada para ambos os solos, ficando em $9,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no Cambissolo e $6,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no Nitossolo (Figura 12). Isso se deve ao pequeno efeito na correção de acidez da cinza de biomassa, pois o pH do solo não foi alterado, conseqüentemente, as cargas variáveis não foram alteradas, ocorrendo apenas troca dos cátions que ocupavam a CTC efetiva, trocando o Al trocável por outros cátions adicionados pela cinza de biomassa.

No Cambissolo a capacidade de troca de cátions potencial (CTC_{pH7}), aumentou com a adição de doses crescentes de cinza (Figura 12). Essa alteração seguiu um polinômio de 2ª ordem, atingido o ápice da curva na dose de 18 t ha⁻¹ com teores de 29,1 cmol_c kg⁻¹, ocorrendo um aumento de 9,7 cmol_c kg⁻¹ em relação à testemunha. Por outro lado, no Nitossolo, a adição de cinza não alterou a CTC potencial.

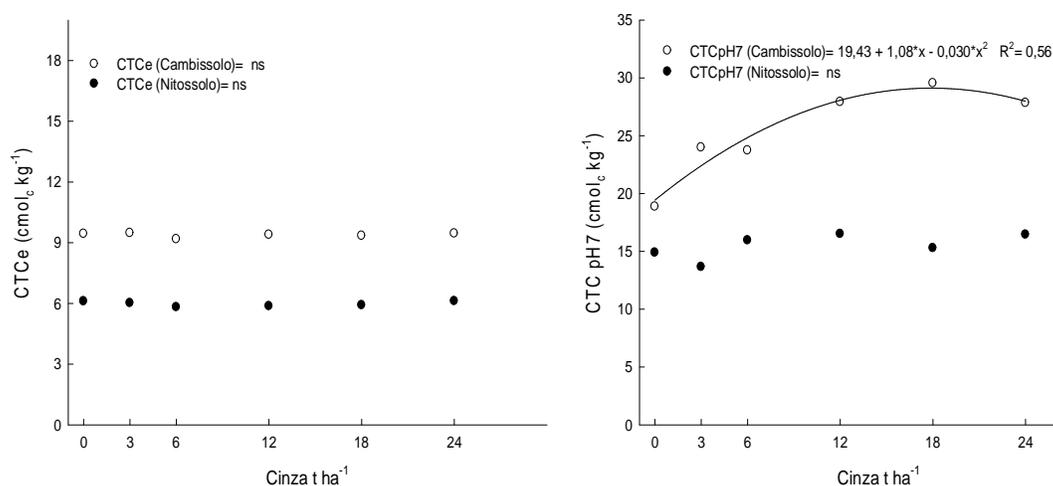


Figura 12 - Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_e) e Capacidade de troca de cátions potencial (CTC_{pH7}) em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages-SC. (* significativo a 5% de probabilidade).

O grau de floculação é influenciado pela mineralogia do solo, matéria orgânica, pH, teores e tipo de cátions trocáveis, pois os mesmos interferem na espessura da dupla camada difusa. A elevação do pH e do teor de matéria orgânica em alguns sistemas aumenta o potencial elétrico superficial e, conseqüentemente, a dispersão. Entretanto, o tipo e a quantidade de cátions trocáveis, podem promover a floculação (Mc BRIDE, 1989). No entanto, nos solos avaliados não foi observado alterações sobre o grau de floculação da argila com a adição de doses crescentes de cinza de biomassa florestal, permanecendo sempre acima de 80 % (Figura 13).

A estabilidade de agregados quantificada através do diâmetro médio geométrico (DMG) das partículas do solo não foi alterada pelas doses aplicadas de cinza de biomassa em ambos os solos (Figura 13). Sendo assim, não houve mudanças na estruturação dos solos conforme a dose do resíduo aumentou.

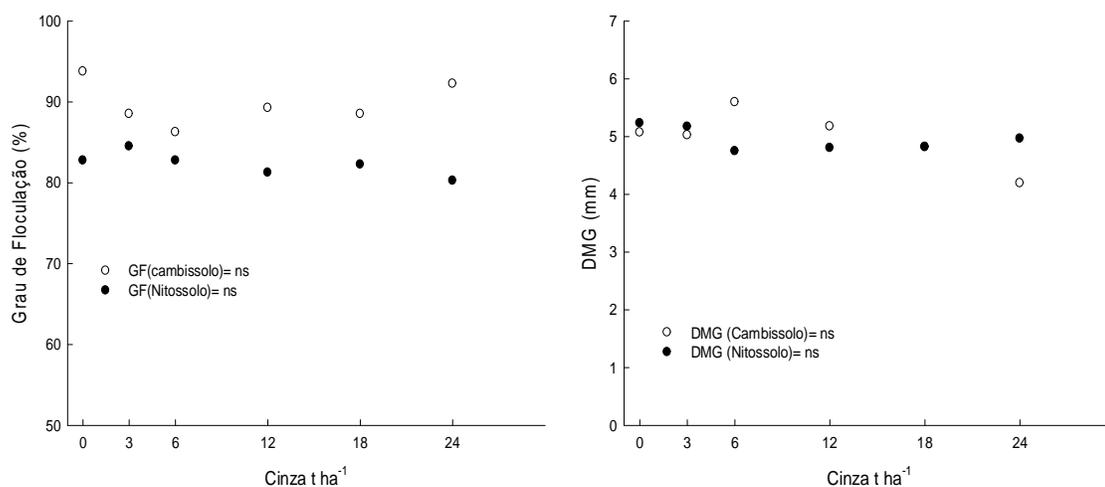


Figura 13 - Grau de floculação e Diâmetro médio geométrico de um Cambissolo e um Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages-SC.

3.2.2 Produção de matéria seca e teor de nutrientes do tecido vegetal das plantas de eucalipto

A adição de cinza de biomassa não modificou a produção de matéria seca das plantas de eucalipto (Figura 14). A ausência de efeitos significativos na produção de matéria seca pode ser atribuída às restrições químicas do Cambissolo e do Nitossolo e da grande exigência nutricional do eucalipto, além do curto período de avaliação do experimento.

Os teores de Ca e Mg não tiveram alterações significativas em função da aplicação de doses crescentes da cinza de biomassa nos solos avaliados (Figura 15). Esta não alteração está provavelmente relacionada com tempo insuficiente para a absorção expressiva dos nutrientes constituintes da cinza, já que houve aumento nos teores nutricionais do solo com a adição

desse resíduo. Todavia, em ambos os solos, os teores de Ca no tecido ficaram acima do limite mínimo para o desenvolvimento normal da cultura do eucalipto que é de 0,6%, conforme a (CQFS-RS/SC 2004).

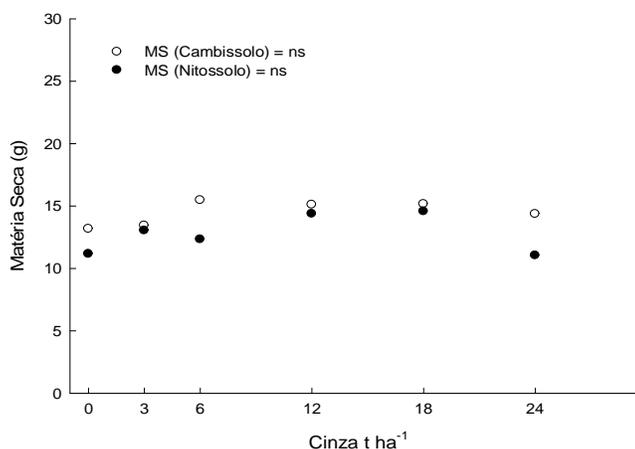


Figura 14 - Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de eucalipto cultivadas em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages–SC.

Já os teores de Mg ficaram no limite mínimo exigido pela cultura do eucalipto no Nitossolo, e acima do limite mínimo no Cambissolo, limite esse de 0,5 % conforme a (CQFS-RS/SC 2004).

A maior parte do K nos tecidos da planta está na forma solúvel, o que permite a sua rápida distribuição das partes de menor para as de maior atividade fisiológica (MALAVOLTA, 1980). Em ambos os solos, a adição de doses crescentes de cinza de biomassa aumentou significativamente os teores de K no tecido vegetal da cultura (Figura 16). Estando estes teores dentro dos limites adequados para o desenvolvimento normal das plantas de eucalipto (MALAVOLTA et al., 1997).

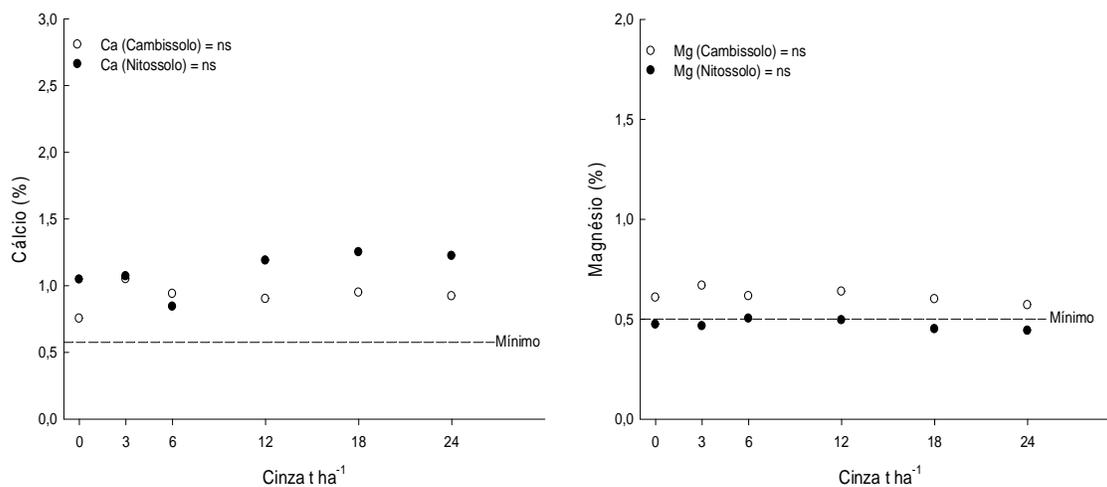


Figura 15 - Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) de plantas de eucalipto cultivadas em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages-SC.

Para o elemento P a adição de doses crescentes de resíduo aumentou os teores na parte aérea das plantas no Nitossolo (Figura 16). Já com adição de 6 t ha^{-1} esses teores ficaram acima do limite mínimo exigido pelas plantas de eucalipto que é de 0,1% (CQFS-RS/SC 2004) e aproximaram-se dos encontrados por (MALAVOLTA et al., 1997). No entanto, para o Cambissolo os teores de P no tecido não diferiram, ficando acima do limite mínimo para o desenvolvimento normal da cultura, em todos os tratamentos.

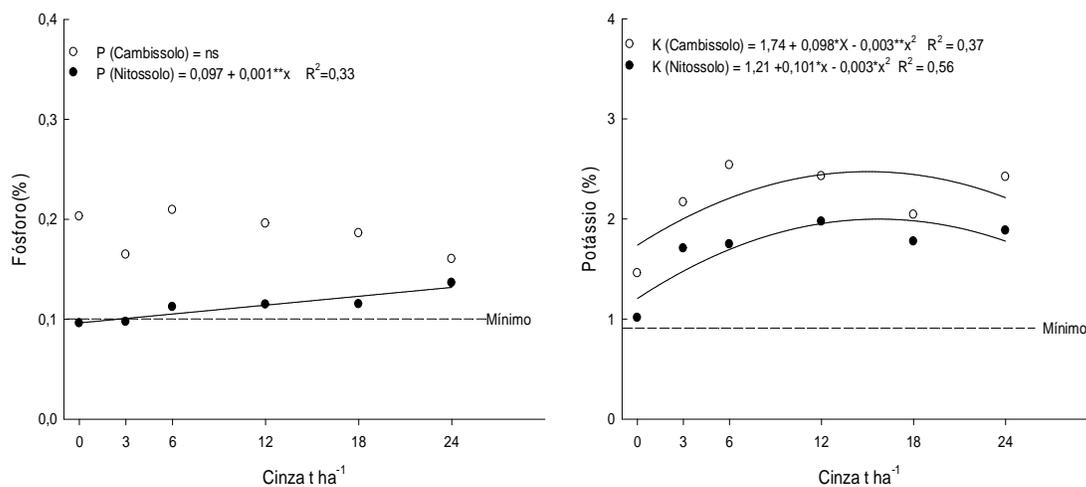


Figura 16 - Teores de potássio (K) e fósforo (P) de plantas de eucalipto cultivadas em um Cambissolo e num Nitossolo submetidos a doses crescentes de cinza de biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., em Lages-SC. (*, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente).

4 EXPERIMENTO II: UTILIZAÇÃO DE CINZA DE BIOMASSA, CALCÁRIO E NPK: EFEITO EDÁFICOS E DESENVOLVIMENTO DE EUCALIPTO.

4.1 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em Lages – SC, em casa de vegetação climatizada no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV- UDESC, no período de setembro a novembro de 2006.

O solo utilizado foi um Cambissolo Húmico Álico, já descrito no experimento I.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 5 repetições, com os seguintes tratamentos:

- Sem corretivo (**T_{est}**);
- Adubação com NPK (**NPK**);
- Cinza de biomassa florestal incorporado na dose de 50% para suprir a necessidade de Ca existente no calcário mais NPK (**Ci50**);
- Cinza de biomassa florestal incorporado na dose de 100% para suprir a necessidade de Ca existente no calcário mais NPK (**Ci100**);
- Cinza de biomassa florestal superficial nas doses de 100% mais NPK (**Ci S100**);
- Dose de calcário correspondente a 0,5 SMP (dose de calcário para elevar o pH do solo a 5,5) mais NPK (**Ca50**);
- Dose de calcário correspondente a 1 SMP (dose de calcário para elevar o pH do solo a 5,5) mais NPK (**Ca100**);
- Mistura de cinza na dose de 50% mais calcário na dose de 0,5 SMP e NPK (**Ci50Ca50**).

A correção da acidez do solo foi realizada com dose de calcário Filler (PRNT 100 %) de 17 t ha⁻¹ para a dose de 100 % (74 g vaso⁻¹), determinada a partir do valor inicial do pH SMP (4,3) para elevar o pH do solo a 5,5 (1 SMP). O PRNT do calcário foi determinado conforme metodologia descrita por (TEDESCO et al., 1995).

A adubação foi realizada com a aplicação de 9,4 g vaso⁻¹ da fórmula 6-30-6, o que corresponde a 2 t ha⁻¹ de NPK.

A quantidade de cinza de biomassa florestal (PN 6,5 %) foi de 88 g vaso⁻¹ para a dose de 100 %, o que corresponde a 22 t ha⁻¹. Essa dose corresponde à quantidade de Ca existente em uma tonelada de calcário. A composição química detalhada da cinza consta na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise química da cinza de biomassa florestal da indústria de papel e celulose, Klabin S.A./SC

Elementos	(Unidade)	Valor	Metodologia usada	Limite de detecção
pH		9,7	Potenciometria	
Carbono orgânico -	(%)	42		
Nitrogênio (TKN) -	(%)	0,14	Kjeldahl	0,01%
Fósforo -	(%)	0,26	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01%
Potássio -	(%)	1,7	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01%
Cálcio -	(%)	1,1	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01%
Magnésio -	(%)	0,69	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01%
Enxofre -	(%)	0,16	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01%
Cobre -	(mg kg ⁻¹)	53	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,6 mg kg ⁻¹
Zinco -	(mg kg ⁻¹)	133	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	2 mg kg ⁻¹
Ferro -	(%)	1,3	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,04%
Manganês -	(%)	0,14	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,04%
Sódio -	(mg kg ⁻¹)	739	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,01%
Cádmio -	(mg kg ⁻¹)	0,2	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,2 mg kg ⁻¹
Cromo -	(mg kg ⁻¹)	23	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,4 mg kg ⁻¹
Níquel -	(mg kg ⁻¹)	15	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	0,4 mg kg ⁻¹
Chumbo -	(mg kg ⁻¹)	<2	Digestão nítrico-P/ ICP-OES	2 mg kg ⁻¹
Umidade	(%)	8	Gravimetria	

As mudas, clone de *Eucalyptus dunnii*, com aproximadamente 10 dias, foram fornecidas em tubetes pela empresa Klabin S/A de Otacílio Costa – SC. Duas mudas foram plantadas em 8 kg de solo acondicionado em vaso de PVC com capacidade de 10 kg.

Durante a condução do experimento, a umidade do solo foi mantida em torno de 80 % da capacidade de campo com adição de água destilada por meio de determinações semanais da massa dos vasos. Avaliou-se o desenvolvimento das plantas de eucalipto, fazendo medições de altura das plantas quinzenalmente. Aos 70 dias após o plantio, as plantas foram cortadas rente ao solo, separando parte aérea (folhas + caule) de raízes.

O material vegetal foi seco em estufa a 65°C até massa constante, determinando-se a produção de matéria seca da parte aérea. Após, moeu-se o material em moinho de facas, com posterior digestão sulfúrica conforme (TEDESCO et al., 1995). Os teores de K absorvidos foram analisados através da metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) e os teores de P absorvidos foram analisados através da metodologia descrita por (TEDESCO et al. 1995; MURPHY & RILEY 1962). Para determinação de Ca e Mg, calcinou-se tecido vegetal em mufla a 600°C ± 5°C, seguindo metodologia descrita por Jones et al. (1990), já detalhada no experimento I.

No solo utilizado foram feitas as mesmas análises descritas no experimento I

Os resultados foram submetidos à análise de variância e montados contrastes univariados e multivariados de interesse, de acordo com os objetivos do experimento para verificar a diferença entre os tratamentos aplicados, através do programa de análises estatísticas SAS (STATISTICAL ANALYSES SYSTEM, 2002). Segundo os objetivos do experimento, foram montados os seguintes contrastes de interesse:

- Testemunha *versus* Tratamentos que receberam adubação solúvel, (**Test x NPK**);
- Tratamentos que receberam adubação solúvel *versus* Tratamentos que receberam 50% de cinza mais NPK, (**NPK x Ci50**);

- Tratamentos que receberam adubação mineral *versus* Tratamentos que receberam 100% de cinza mais NPK, (**NPK x Ci100**);
- Tratamentos que receberam adubação mineral *versus* Tratamentos que receberam 50% de calcário mais NPK, (**NPK x Ca50**);
- Tratamentos que receberam adubação mineral *versus* Tratamentos que receberam 100% de calcário mais NPK, (**NPK x Ca100**);
- Tratamentos que receberam adubação mineral *versus* Tratamentos que receberam 50% de calcário mais 50% de cinza mais NPK, (**NPK x Ca50 Ci50**);
- Tratamentos que receberam 50% de cinza *versus* Tratamentos que receberam 100% de cinza mais NPK, (**Ci50 x Ci100**);
- Tratamentos que receberam 50% de cinza *versus* Tratamentos que receberam 50% de calcário mais NPK, (**Ci50 x Ca50**);
- Tratamentos que receberam 100% de cinza *versus* Tratamentos que receberam 100% de calcário mais NPK, (**Ci100 x Ca100**);
- Tratamentos que receberam 100% de cinza *versus* Tratamentos que receberam 50% de calcário mais 50% de cinza mais NPK, (**Ci100 x Ca50 Ci50**);
- Tratamentos que receberam 100% de calcário *versus* Tratamentos que receberam 50% de calcário mais 50% de cinza mais NPK, (**Ca100 x Ca50 Ci50**).

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2.1. Atributos químicos do solo

A adição de cinza aumentou os teores de Ca, Mg, K e P no solo, no entanto, o aumento do pH não foi significativo. A aplicação do calcário aumentou o pH do solo (Figura 17), os teores de Ca, Mg, P, SB e CTC e reduziu os teores e a saturação por Al.

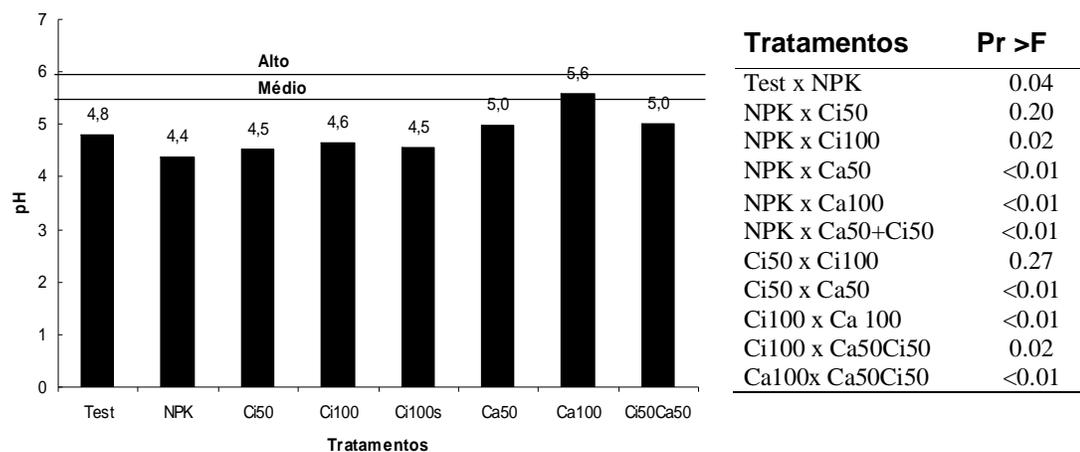


Figura 17 - pH do Cambissolo após a aplicação de Cinza da Biomassa Florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes. Test =Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

O pH do solo na testemunha foi de 4,8, diminuindo para 4,4 com a aplicação de NPK, efeito esse atribuído à liberação de prótons H^+ no meio durante o processo de nitrificação do NH_4^+ , além do deslocamento de H^+ para a solução do solo promovido pelos cátions adicionados com o adubo.

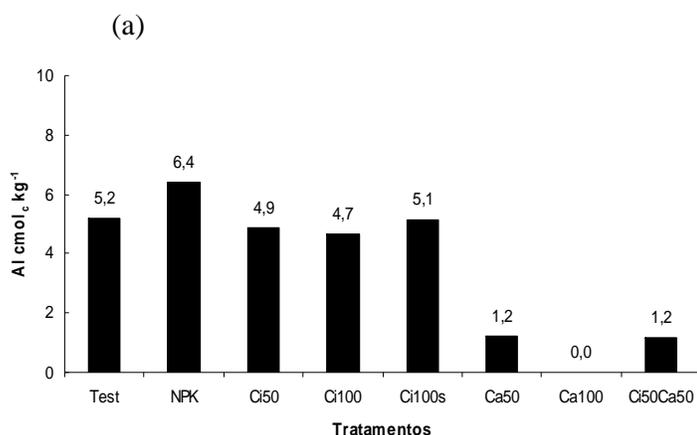
No tratamento Ci50 o pH aumentou apenas 0,1 unidade quando comparado com o tratamento NPK, e foi menor do que a testemunha, no entanto, com a adição da maior dose de cinza o pH aumentou apenas 0,2 unidades (Figura 17). A adição de calcário elevou o pH para 5,0 na dose correspondente a 0,5 SMP e para 5,6 na dose correspondente a 1 SMP, conforme era esperado. Sendo assim, a cinza não foi eficiente na neutralização da acidez do solo nas doses utilizadas e durante o período de analisado.

Não houve diferença significativa no pH em relação ao modo de aplicação da cinza, superficial ou incorporado, já que o solo analisado foi misturado durante a coleta. Contrastando os tratamentos que receberam cinza, conclui-se que a cinza possui pequeno

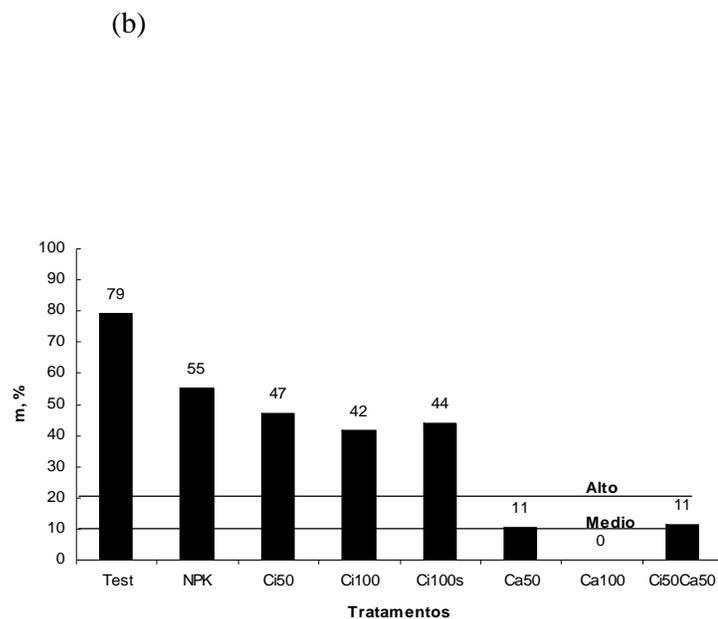
efeito corretivo da acidez do solo em curto prazo, consequência do baixo PN da cinza, em torno de 6,5%, e pelo caráter parcialmente insolúvel desse resíduo, sendo que este é liberado gradativamente para a solução do solo.

O solo apresentou elevada quantidade de Al ($5,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), sendo que a adição de NPK elevou este teor para $6,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ devido à acidificação do solo. A adição de cinza, praticamente não alterou o pH, sendo assim, não neutralizou o Al trocável, permanecendo o mesmo com teores de $4,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 18). Isso indica um fator negativo, já que o Al^{+3} é potencialmente prejudicial a um grande número de processos bioquímicos dos vegetais (KOCHIAN et al., 2004). Para os tratamentos que correspondem a 0,5 SMP da necessidade de calcário, o teor de Al trocável reduziu para $1,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e no tratamento que correspondente a 1 SMP o teor de Al reduziu para zero. Isso pode ser explicado pelo fato que o Al trocável é neutralizado quando o pH é superior a 5,5. Ernani & Almeida (1986), após analisarem a relação entre o pH e o teor de Al trocável para solos de Santa Catarina, observaram que quando o pH é de 5,2 o teor de Al trocável é próximo ou menor do que $1,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e a saturação por Al é inferior a 10% (Figura 18). Na testemunha a saturação por Al foi de 79%; com a adição de NPK, reduziu para 55%; com adição de cinza reduziu para 44%; com calcário na dose 0,5 SMP e 1 SMP reduziu respectivamente para 11% e 0%.

O teor de Ca aumentou de $0,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na testemunha para $3,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no tratamento com NPK, $4,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no tratamento Ci100 e para $8,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no tratamento Ca100 (Figura 19). Com a adição da maior dose de cinza e nos tratamentos que receberam calcário, os teores de Ca passaram a ser considerados altos, segundo a CQFS-RS/SC (2004). A elevação de cálcio com a adição de NPK se deve às reações de troca de cátions, principalmente com o K, devido à elevada quantidade de adubo utilizada, além da existência de Ca nas matérias primas utilizadas para a formulação do adubo mineral.



Tratamentos	Pr >F
Test x NPK	<0.01
NPK x Ci50	<0.01
NPK x Ci100	<0.01
NPK x Ca50	<0.01
NPK x Ca100	<0.01
NPK x Ca50Ci50	0.005
Ci50 x Ci100	<0.01
Ci50 x Ca50	<0.01
Ci100 x Ca 100	<0.01
Ci100 x Ca50Ci50	<0.01
Ca100x Ca50Ci50	<0.01



Tratamentos	Pr >F
Test x NPK	<0.01
NPK x Ci50	<0.01
NPK x Ci100	<0.01
NPK x Ca50	<0.01
NPK x Ca100	<0.01
NPK x Ca50Ci50	<0.01
Ci50 x Ci100	0.37
Ci50 x Ca50	<0.01
Ci100 x Ca 100	<0.01
Ci100 x Ca50Ci50	<0.01
Ca100 x Ca50Ci50	<0.01

Figura 18 - Teores de Alumínio (a) e saturação por alumínio (b) do Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC, e seus respectivos contrastes. Test =Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

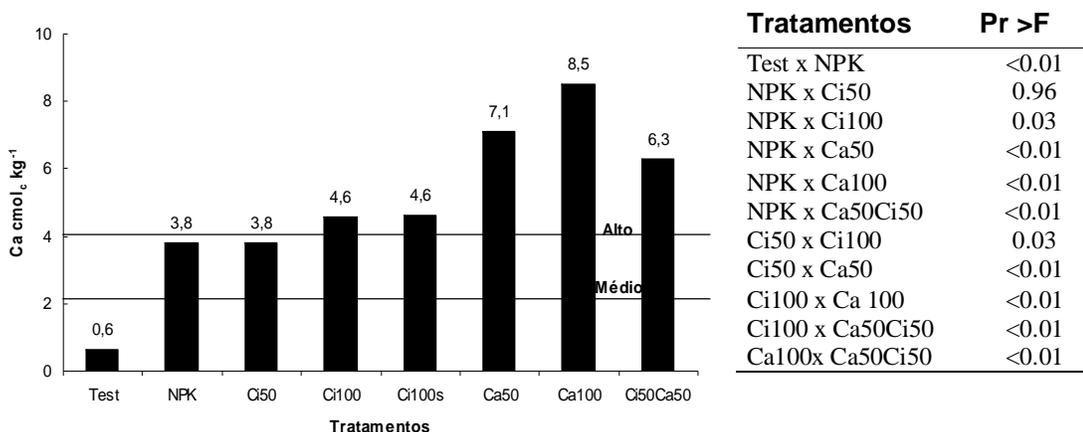


Figura 19 - Teores de Cálcio (Ca) do Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes.

Test = Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

Efeitos semelhantes ao Ca foram observados para o Mg (Figura 20), mas com magnitudes menores. O teor de Mg na testemunha foi de 0,6 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e elevou em média para 1,3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ nos tratamentos com NPK e cinza, e para 4,4 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ na maior dose de calcário. Sendo assim, a adição de NPK, cinza e, principalmente, calcário elevaram os teores no solo para a faixa considerada alta segundo a CQFS-RS/SC (2004).

A relação Ca/Mg foi de 1,1 na testemunha e aumentou para 3,2 com a aplicação de NPK (Figura 21). A aplicação de cinza não promoveu alteração, quando comparada com o tratamento NPK. Com a adição do calcário houve uma diminuição da relação Ca/Mg, fato esse explicado pelo aumento dos teores de Mg adicionados com o calcário

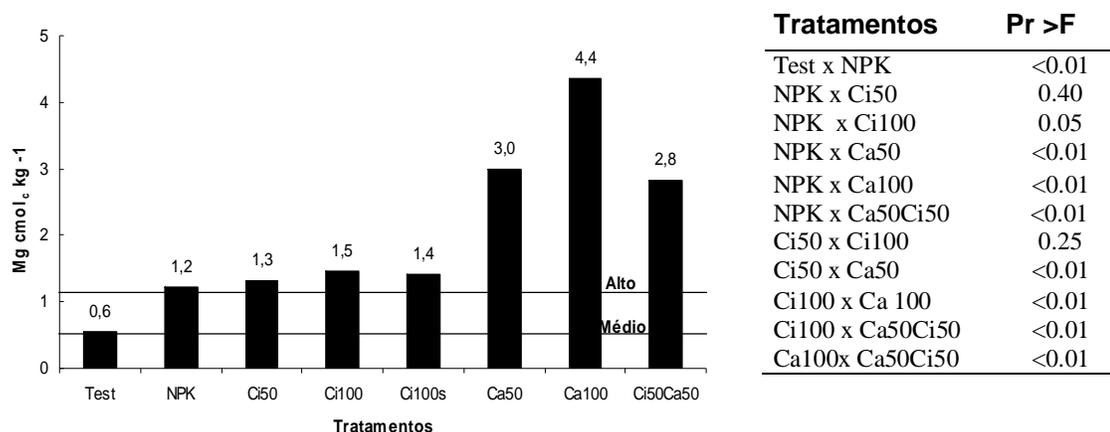


Figura 20 - Teores de Magnésio (Mg) do Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes. Test =Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

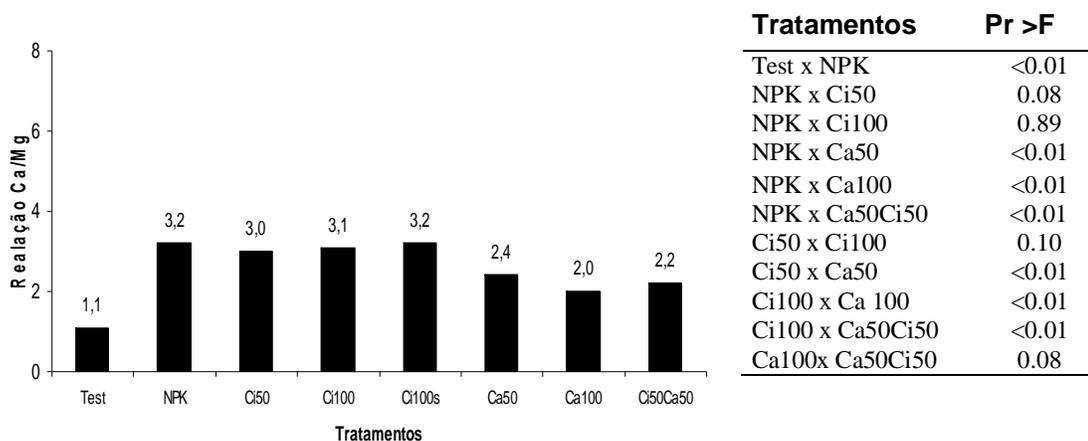


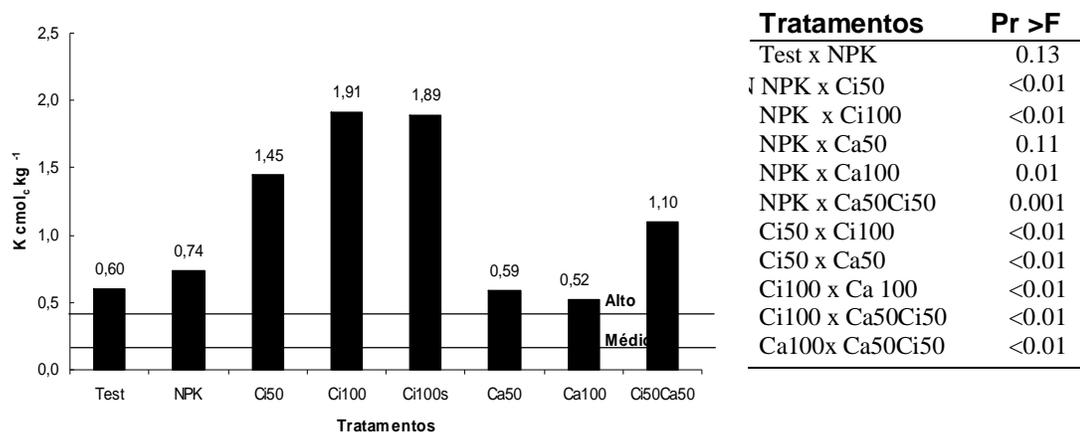
Figura 21- Relação Ca/Mg do Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes. Test =Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

A relação entre cálcio e magnésio (Ca/Mg) do solo é uma variável importante a ser avaliada, pois os mecanismos de absorção desses dois elementos pelas plantas são

semelhantes (MARSCHNER, 1995). Segundo Malavolta (1980), a relação deve estar abaixo de 7:1; logo, todos os tratamentos ficaram dentro dos limites aceitáveis.

Entretanto, o rendimento da maior parte das culturas não é afetado por relação Ca/Mg variando de 0,5 até aproximadamente 10, desde que nenhum dos dois nutrientes esteja em deficiência CQFS-RS/SC (2004).

Considerando que este solo possui CTC_{pH7} superior a $15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, o teor de K deve ser superior a $0,23 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (CQFS-RS/SC, 2004). O teor de K na testemunha foi de $0,60 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (figura 22) e de $0,74 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no tratamento com NPK. Com a maior dose de cinza o teor praticamente triplicou ($1,91 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), teor considerado alto (CQFS-RS/SC, 2004). Com a adição de calcário, ocorreu diminuição dos teores de K, no entanto estes continuaram acima do nível alto no solo (CQFS-RS/SC, 2004). Essa diminuição pode ser explicada devido as grandes quantidades de Ca e Mg adicionado com o calcário, diminuindo o K no complexo de troca. No perfil do solo, estas reações favorecem a desorção de K e sua lixiviação.



Tratamentos	Pr >F
Test x NPK	0.13
↓ NPK x Ci50	<0.01
NPK x Ci100	<0.01
NPK x Ca50	0.11
NPK x Ca100	0.01
NPK x Ca50Ci50	0.001
Ci50 x Ci100	<0.01
Ci50 x Ca50	<0.01
Ci100 x Ca 100	<0.01
Ci100 x Ca50Ci50	<0.01
Ca100x Ca50Ci50	<0.01

Figura 22 - Teores de Potássio (K) do Cambissolo após a aplicação de Cinza da Biomassa Florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes. Test = Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

Para este Cambissolo, que possui em média 350 g kg^{-1} de argila (Tabela 1), o teor de P considerado alto é entre 12 e 24 mg kg^{-1} (CQFS-RS/SC, 2004), no entanto, na testemunha o teor de P foi de apenas $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 23). Com a adição de NPK o teor subiu para $13,5 \text{ mg kg}^{-1}$ e com a adição de cinza mais NPK modificou significativamente este teor, aumentando para $61,2 \text{ mg kg}^{-1}$. A quantidade de P adicionada com a cinza superou o teor crítico, ficando bem acima do nível alto para P no solo (PAULETTI, 2004; CQFS-RS/SC, 2004). Esse fato comprova a capacidade da cinza em suprir o solo com P.

Para os tratamentos que receberam calcário, observa-se um aumento significativo na disponibilidade de P em relação ao tratamento NPK. O aumento da disponibilidade de P no solo varia basicamente com o pH e pela adição de fontes de P. A redução do Al trocável, neutralização de H^+ e aumento das cargas negativas (OH^-) aumentam a solubilidade do P, deslocando estes para a solução do solo. Assim a disponibilidade de P às plantas depende do teor de P no solo e também do grau de acidez do solo.

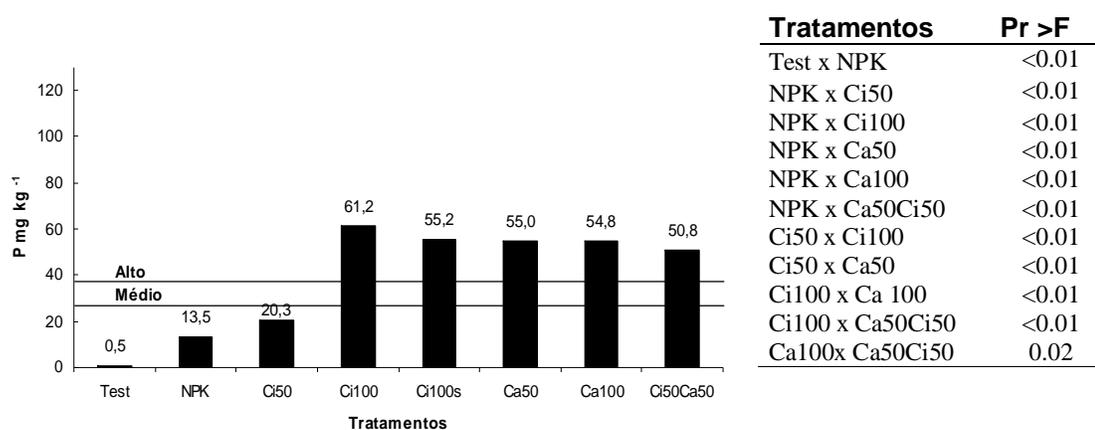
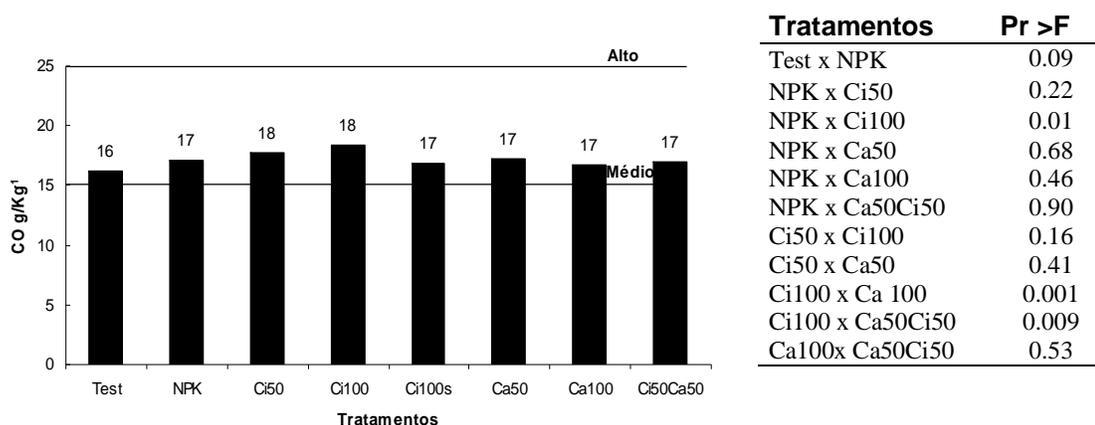


Figura 23 - Teores de Fósforo (P) do Cambissolo após a aplicação de Cinza da Biomassa Florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages SC. e seus respectivos contrastes. Test = Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

O conteúdo de CO no solo não variou significativamente com a adição de NPK, quando comparado com a testemunha (Figura 24). Com adição da maior dose de cinza houve aumento do conteúdo de CO, diferindo significativamente do tratamento Ca100 e do Ca50Ci50. É possível observar uma pequena elevação do teor de CO no solo nos tratamentos que receberam cinza e redução nos tratamentos que receberam calcário. Em estudo realizado por Albuquerque et al. (2000), foi observada redução do CO com a calagem em Nitossolo Bruno, provavelmente essa redução deveu-se pelo estímulo a atividade microbiana.



Tratamentos	Pr >F
Test x NPK	0.09
NPK x Ci50	0.22
NPK x Ci100	0.01
NPK x Ca50	0.68
NPK x Ca100	0.46
NPK x Ca50Ci50	0.90
Ci50 x Ci100	0.16
Ci50 x Ca50	0.41
Ci100 x Ca 100	0.001
Ci100 x Ca50Ci50	0.009
Ca100x Ca50Ci50	0.53

Figura 24 - Teores de Carbono orgânico (CO) do Cambissolo após a aplicação de Cinza da Biomassa Florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC, e seus respectivos contrastes. Test =Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

Com o aumento dos teores de Ca, Mg e K nos tratamentos que receberam cinza e NPK e com o aumento de Ca e Mg com a adição de CaCO_3 , ocorreu aumentos significativos da soma e saturação por bases (Figura 25). O solo analisado é muito pobre em bases trocáveis, sendo que na testemunha a SB foi de $1,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, com adição de NPK aumentou para $5,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e com a adição da maior dose de cinza para $8,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e com a aplicação de calcário aumentou para $10,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $13,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na dose 0,5 SMP e 1 SMP, respectivamente. Com estas alterações a saturação por bases aumentou de 11% na

testemunha para 66% e 38% no tratamento que recebeu 100% de calcário e no tratamento que recebeu 100% de cinza respectivamente. Segundo Rajj (1991) a saturação por bases em torno de 65% é considerada suficiente para o desenvolvimento das culturas.

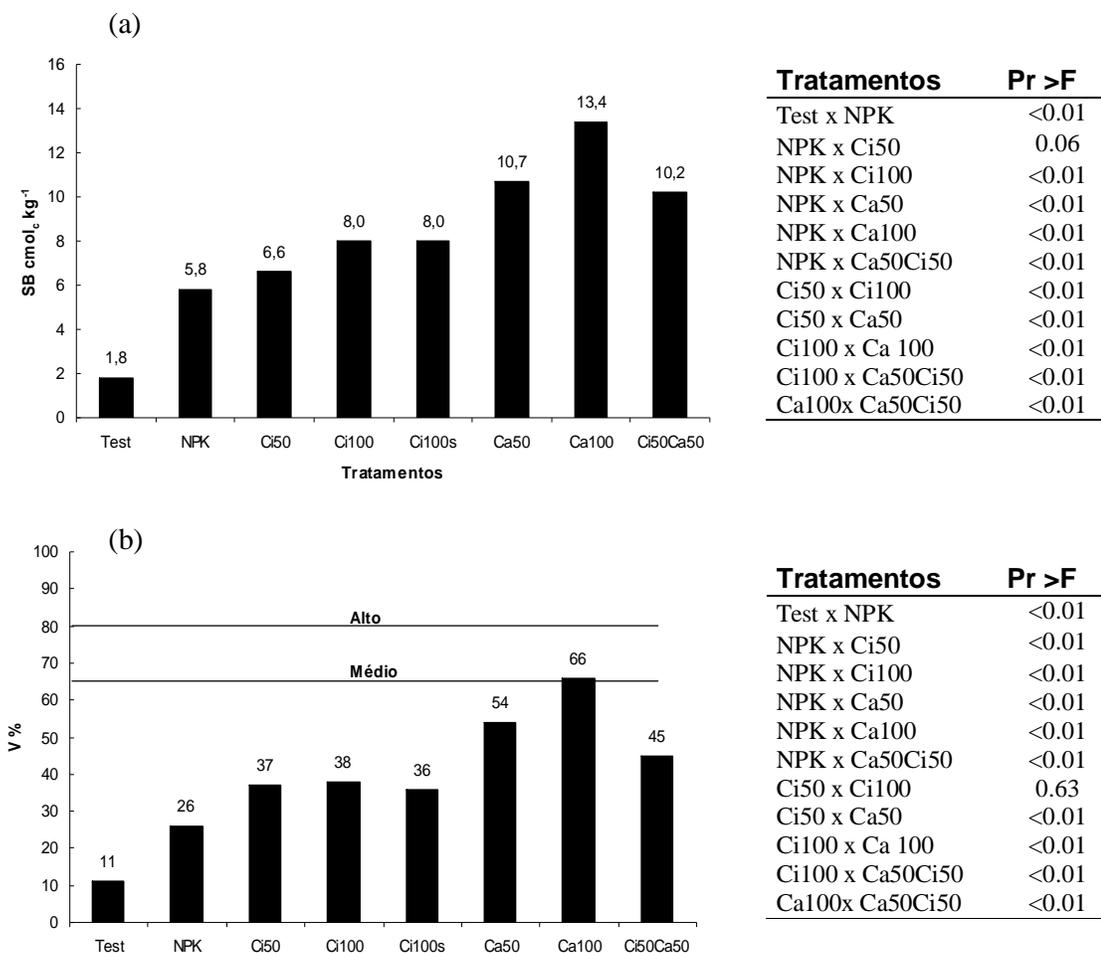


Figura 25 - Soma de Bases (a) e Saturação por Bases (b) do Cambissolo após a aplicação de Cinza da Biomassa Florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC, e seus respectivos contrastes. Test =Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

A adição de cinza, NPK e calcário aumentou a CTC efetiva do solo, quando comparados com a testemunha. A cinza não aumentou significativamente a CTC quando comparados com os tratamentos NPK, Ca50 e Ca100 (Figura 26).

O aumento da CTC do solo que recebeu calcário pode estar relacionado com a complexação do Al das entrecamadas dos minerais 2:1 (Hidróxi-alumínio) que bloqueiam as cargas negativas (MEDEIROS, 2008). Assim, quando reagem com as oxidrilas, formam novos compostos e desobstruem essas cargas que serão ocupadas pelos cátions básicos, e estes, somados para a CTC efetiva.

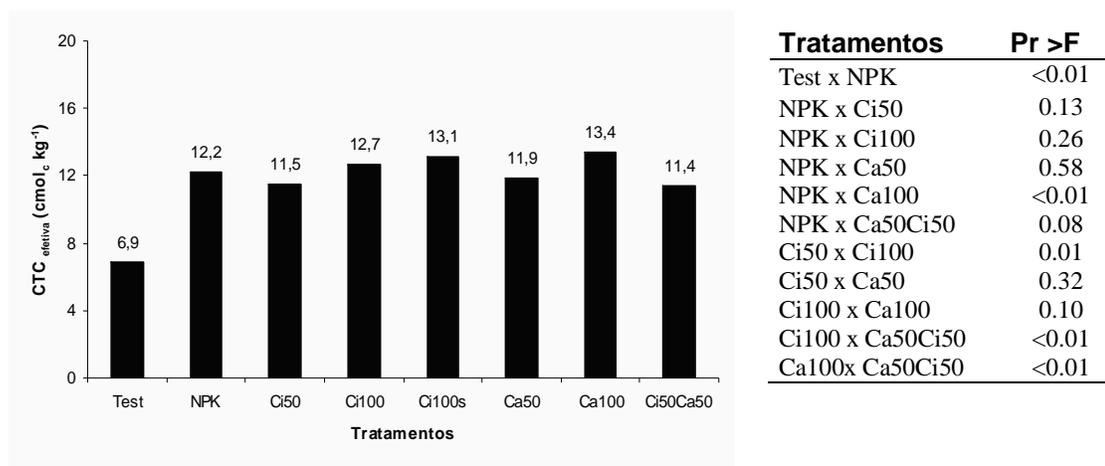


Figura 26 - Capacidade de troca de cátions do Cambissolo após a aplicação de Cinza da Biomassa Florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes. Test = Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

A aplicação das doses de corretivos não modificou significativamente o grau de floculação (Figura 27). Isso pode estar relacionado com a maior participação do Al no complexo de troca, já que este solo possui naturalmente quantidades significativas de Al. Nos tratamentos que receberam calcário e cinza, houve aumento nos teores de Ca e Mg, sendo assim, possíveis problemas na estrutura do solo podem ser amenizados pelo efeito do Ca e Mg, assim como o aumento da concentração eletrolítica (MILLER et al., 1990). Todavia, Albuquerque et al. (2000) observaram que o aumento da carga líquida negativa promovida pela calagem reduziu o grau de floculação da argila de um Latossolo Bruno.

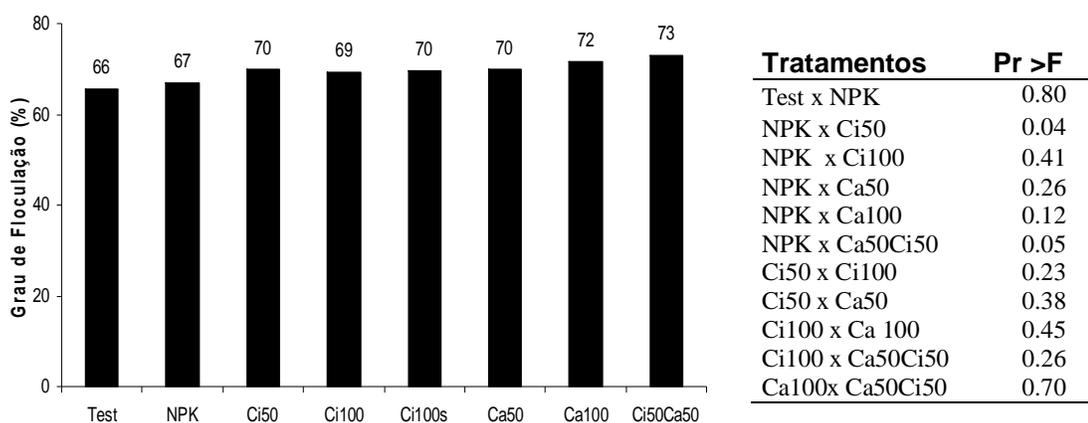


Figura 27 - Grau de Floculação (%) do Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages- SC e seus respectivos contrastes. Test =Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

Com o intuito de avaliar a dependência entre as variáveis-respostas, fato que na análise univariada não é contemplado, fez-se a análise multivariada. Conforme Coimbra et al. (2007), a utilização de apenas uma variável pode ser uma simplificação que não evidencia às verdadeiras causas de variações intrínsecas aos dados do estudo e deixa de fora da análise a importante informação de covariabilidade entre as variáveis.

Constata-se que houve diferença significativa em todos os contrastes testados para todos os efeitos principais avaliados (Tabela 4). A diferença entre os contrastes deve-se principalmente à variação do tipo e da quantidade de corretivos adicionados ao solo nos diferentes tratamentos. O adubo solúvel (NPK) aumentou significativamente os teores nutricionais do solo quando comparados com a testemunha. Já a aplicação da cinza de biomassa florestal, principalmente na maior dose, aumentou significativamente os elementos avaliados. Efeitos semelhantes foram observados com a adição de calcário, com exceção do K que diminuiu significativamente.

Tabela 4 - Teste multivariados dos efeitos simples no solo, com o teste F, para comparação dos contrastes testados pela estatística de Wilk's.

Contrastes	Teste Estatístico	Valor de F	Pr>F
Test x NPK	Lambda Wilks	82	<0.01
NPK x Ci50	Lambda Wilks	5	0.05
NPK x Ci100	Lambda Wilks	45	<0.01
NPK x Ca50	Lambda Wilks	98	<0.01
NPK x Ca100	Lambda Wilks	190	<0.01
NPK x Ca50Ci50	Lambda Wilks	105	<0.01
Ci50 x Ci100	Lambda Wilks	32	<0.01
Ci50 x Ca50	Lambda Wilks	85	<0.01
Ci100 x Ca 100	Lambda Wilks	124	<0.01
Ci100 x Ca50Ci50	Lambda Wilks	58	<0.01
Ca100x Ca50Ci50	Lambda Wilks	27	<0.01

4.1.2 Produção de matéria seca e teor de nutrientes do tecido vegetal das plantas de eucalipto

A produção de matéria seca da parte aérea aumentou de 10 g por vaso na testemunha para 35,3 g no tratamento NPK, para 35,6 g no tratamento com 50% de cinza e para 37,8 g no tratamento com 50% de CaCO_3 (Figura 28). No entanto, avaliando isoladamente os tratamentos que receberam a cinza de biomassa florestal, constata-se que esta não teve efeitos significativos sobre a produção de matéria seca, quando comparados com o tratamento que recebeu somente adubo solúvel, isso se deveu provavelmente devido ao curto período de experimento.

Segundo alguns autores (ANDRADE et al., 2003; BELLOTE et al., 1994; BELLOTE et al., 1998; MORO et al., 1995; e RODRIGUES et al., 2005), a aplicação de resíduos da indústria de papel e celulose, como a cinza de biomassa florestal, dreg e grits, melhoram o desenvolvimento das plantas.

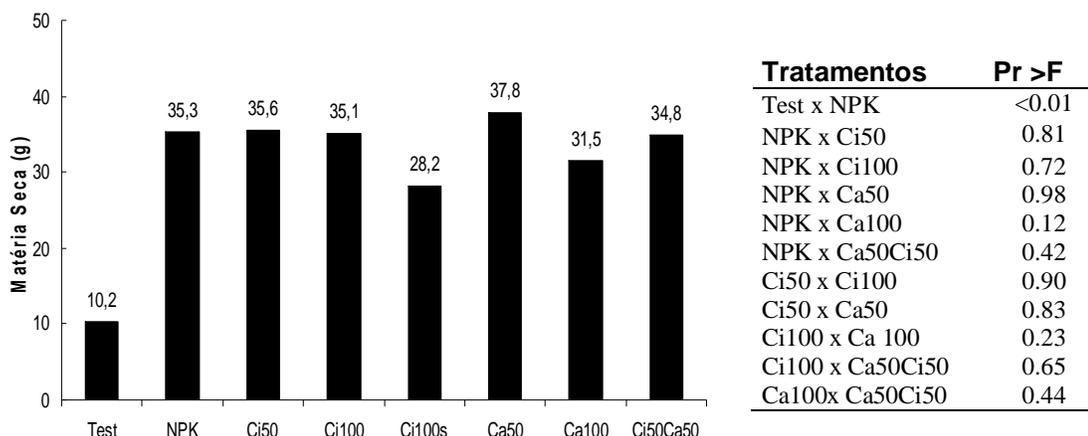


Figura 28 - Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de eucalipto cultivados em Cambissolo durante 70 dias após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes. Test =Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

As alterações promovidas no solo com a aplicação de NPK favoreceram o crescimento das plantas de eucalipto e resultaram em maior altura de plantas ao final do período avaliado (Figura 29). Estas melhorias estão relacionadas à correção das principais restrições químicas, deste Cambissolo Húmico Álico, com baixa saturação por bases e extremamente ácido, além da grande exigência nutricional do eucalipto.

Entre os tratamentos que receberam NPK, cinza e calcário não houve diferença significativa nos parâmetros de crescimento das plantas, possivelmente pela elevada dose de NPK aplicada. Assim, é necessário avaliar o efeito da cinza isoladamente, além de doses que suprem as necessidades pré-determinadas, considerando a constituição da cinza e suas potencialidades.

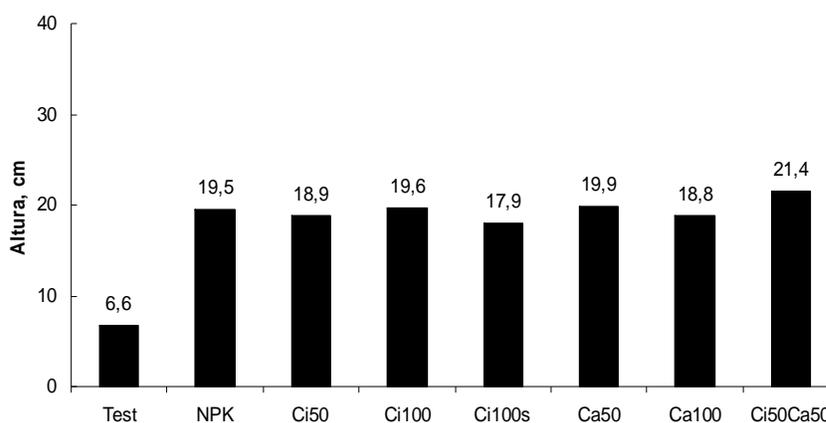


Figura 29 - Altura das plantas de eucalipto, cultivados em Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC.

Em se tratando de diagnose nutricional das árvores, a análise química foliar é muito utilizada, assumindo, dentro de certos limites, que o teor do nutriente contido nas folhas seja um reflexo de sua disponibilidade no solo (REISSMANN, 2002).

O cálcio é vital para várias funções na planta: auxilia na conversão do N-nitrato (N-NO₃) em formas necessárias para a formação de proteínas, além de ativar um grande número de sistemas enzimáticos. A concentração do Ca no tecido variou de 1,9 a 3,1 % (Figura 30), teores acima do considerado limitante para a cultura do eucalipto que é de 1,0% (CQFS-RS/SC 2004). Porém, a testemunha apresentou os maiores teores de Ca na parte aérea. Isso pode ser explicado pelo efeito de diluição, ou seja, plantas com menor crescimento, podem apresentar teores nutricionais mais altos de determinados elementos e mais baixo de outros.

Comparando com a testemunha, os tratamentos com NPK, cinza e calcário aplicado ao solo elevaram a concentração de Mg, na parte aérea do eucalipto. Os teores variaram de 0,38 a 0,58 % (Figura 31), o que segundo a CQFS-RS/SC (2004) ficou ligeiramente acima do teor mínimo para um bom desenvolvimento de plantas de eucalipto, que é de 0,5 %.

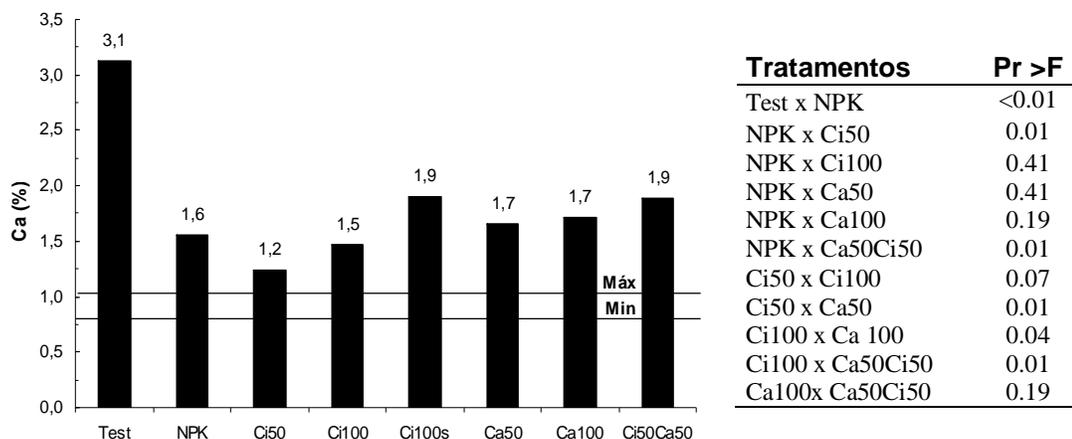


Figura 30 - Teores de cálcio (Ca) em plantas de eucalipto, cultivados em Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes. Test =Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

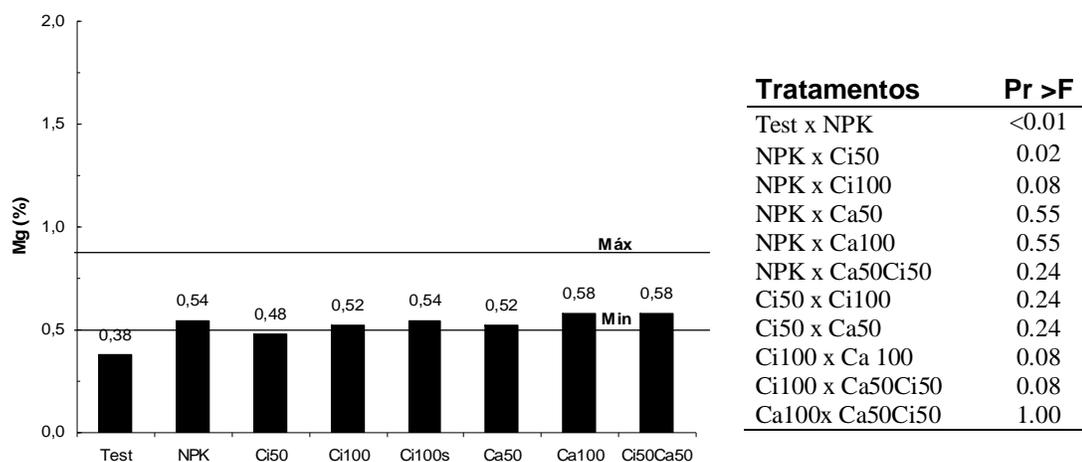


Figura 31 - Teores de magnésio (Mg) em plantas de eucalipto, cultivados em Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes. Test =Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

Os tratamentos não modificaram os teores de K no tecido vegetal (Figura 32), no entanto, esses teores ficaram acima do limite máximo para o desenvolvimento normal da cultura de eucalipto que é de 1,3% (CQFS-RS/SC 2004).

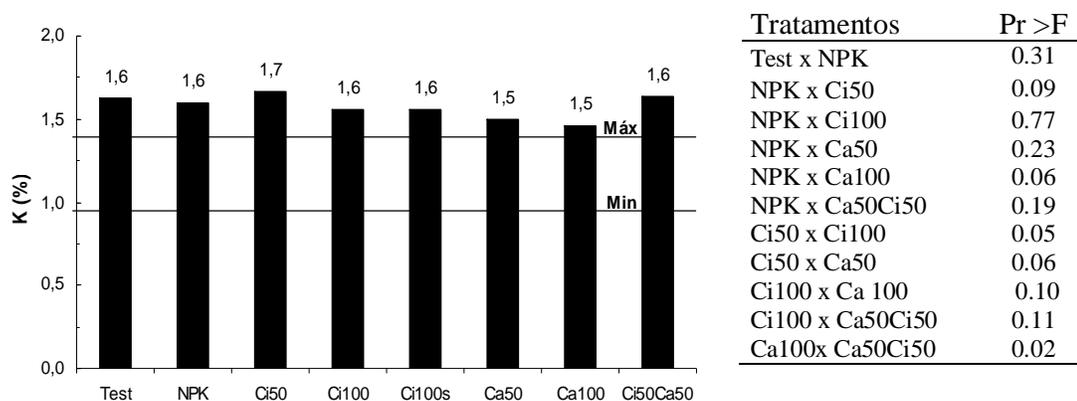


Figura 32 - Teores de potássio (K) em plantas de eucalipto, cultivados em Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes. Test =Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

O teor de P no tecido aumentou de 0,11 para 0,16 % com a adição de NPK e a cinza não modificou este teor, já o calcário elevou para 0,21 %. Com os adubos e corretivos, os teores de P ficaram acima do limite máximo exigido pelas plantas de eucalipto (Figura 33) que é de 0,13% (CQFS-RS/SC 2004), principalmente com a adição de cinza, NPK e calcário. Estes teores elevados estão relacionados principalmente com adubação fosfatada realizada na implantação da cultura e com o aumento do pH do solo, pois com a criação de cargas negativas, os fosfatos são desorvidos das cargas e vão para a solução do solo, ficando disponíveis para as plantas. Além disso, o fósforo é um elemento pouco móvel no solo, portanto sua absorção pelas plantas depende muito do sistema radicular e, com a redução do Al^{+3} tóxico devido à correção da acidez, há um aumento substancial na área explorada pelo

sistema radicular e assim da absorção de P pelas plantas (MEDEIROS, 2008).

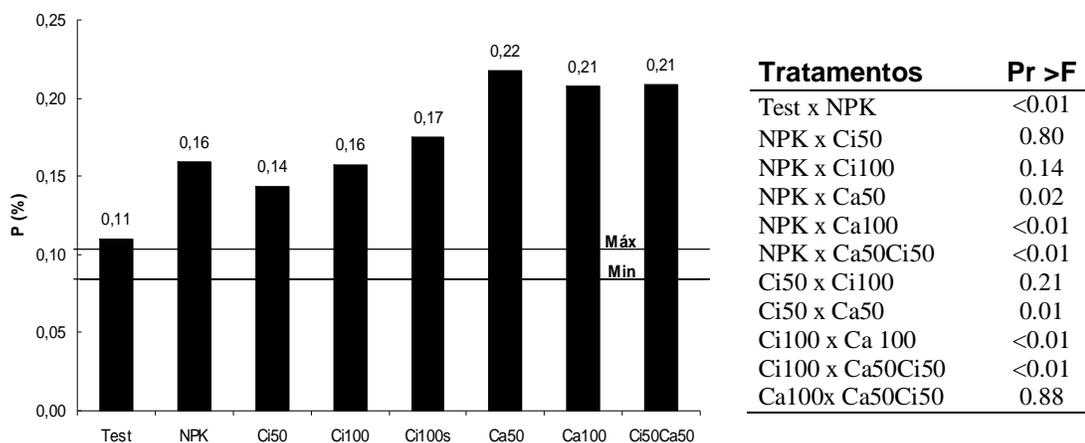


Figura 33 - Teores de fósforo (P) em plantas de eucalipto, cultivados em Cambissolo após a aplicação de cinza da biomassa florestal, da indústria de papel e celulose Klabin S.A., calcário e adubação mineral com NPK, em Lages-SC e seus respectivos contrastes. Test =Testemunha; NPK = Somente NPK; Ci50 = 50% de cinza mais NPK; Ci100 = 100% de cinza mais NPK; Ci100s = 100% de cinza aplicada superficialmente mais NPK; Ca50 = 50% de calcário correspondente a 0,5 SMP mais NPK; Ca100 = 100% de calcário correspondente a 1 SMP mais NPK; Ci50Ca50 = 50% de cinza mais 50% de calcário mais NPK.

5 CONCLUSÕES

- ✓ A adição de cinza de biomassa florestal aumentou os teores de Ca, Mg, K e P no Cambissolo Húmico e no Nitossolo Háptico, mas não alterou o pH do solo;
- ✓ A aplicação do calcário aumentou o pH e os teores de Ca, Mg, P, SB e CTC e reduziu os teores e a saturação por Al no Cambissolo Húmico;
- ✓ A aplicação das doses de corretivo e de cinza de biomassa florestal não modificou significativamente a estrutura dos solos;
- ✓ As plantas responderam à adubação com NPK;
- ✓ A adição de cinza de biomassa não modificou a produção de matéria seca das plantas de eucalipto nos tratamentos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Anuário Estatístico ABRAF 2006. Disponível em: < <http://www.ciagri.usp.br/> >. Acesso em: jul. 2007.

AGASSI, M.; SHAINBERG, I.; MORIN, J. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. **Soil Science Society American Journal**, 45:848-851, 1981

ALBUQUERQUE, J.A.; CASSOL, E.A.; REINERT, D.J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:141-151, 2000.

ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E.C.; COSTA, F.S.; RECH, T.D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:1065-1073, 2002.

ALMEIDA, J.A.A. CFQSPC- Características físicas e químicas dos solo do Planalto Catarinense. Dados Pessoais, 1986.

ALMEIDA, H.C.; SILVEIRA, C.B.; ERNANI, P.R.; CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, D. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). **Química Nova**, 30:1669-1672, 2007.

ANDRADE, G.C., SILVA, H.D., BELLOTE, A.F.J., FERREIRA, C.A. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo celulósico no crescimento de *Eucalyptus dunn*. **Boletim de Pesquisa Florestal**. EMBRAPA. n. 47, p. 43 – 54, 2003.

BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D.; ANDRADE, G.C.; MORO, L. Implicações ecológicas do uso de cinzas de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: **SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS**

EM FLORESTAS, 1, 1994, Botucatu. **Anais**. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 167 – 187.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A.; ANDRADE, G.C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**. EMBRAPA. 37:99-106, 1998.

BEN-HUR, M.; STERN, R.; VAN DER MERWE, A.J. Slope and gypsum effects on infiltration and erodibility of dispersive and nondispersive soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, 56:1571-1576, 1992.

BERNI, R. F. Efeito da cinza da casca de arroz no controle da brusone nas folhas do arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. 31(1): 71-78, 2001.

BRACELPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Avaliação do setor de celulose e papel. Desempenho do setor em 2007**. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br>> Acesso em: maio de 2008

CHARLET, L.; SPOSITO, G. Bivalent ion adsorption by an Oxisol. **Soil Science Society American Journal**, 53:691-695, 1989.

COIMBRA, J.L.M.; SANTOS, J.C.P.; ALVES, M.V.; BARZOTTO, I. Técnicas multivariadas aplicadas ao estudo da fauna do solo: contrastes multivariados e análise canônica discriminante. **Revista Ceres**, 54(312): 214 – 218, 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. 2004. 400p.

DAROLT, M.R., NETO, V. B., ZAMBON, F. R. A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivos de solo na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 11, p. 38- 40, 1993.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação dos Solos – SNLCS. **Manual e métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J.A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 13:139-143, 1986.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size Analysis. In: BLACK, C.A. eds. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy. n9. part1. 1986.

GOEPFERT, C.F.; BENDJOYA, B.; POMBO, L.A. Efeito da cinza de carvão de pedra sobre o rendimento de bulbos de cebola (*Allium cepa L.*) e as propriedades físicas e químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 4: 96-99, 1980.

GUERRINI, I.A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: **SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS**, 1994, Botucatu. Anais. Botucatu: UNESP - Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1994. p. 188-215.

GUERRINI, I.A.; VILLAS BOAS, R.L. BULL, L.T. Influência do resíduo celulósico e cinza provenientes de fábrica de celulose e papel sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em condições de vaso. **Rev. Científica**. São Paulo, v. 22, n. 1, 1994.

HARRISON, R.B.; GUERRINI, I.A.; HENRY, C.L.; COLE, D.W. Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento. **Circular técnica**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestal (IPEF), n. 198, p. 1-20, jul. 2003.

JONES, J.B.; CASE V.W.; Sampling, Handlin and Analizing Plant Tissue Sample. **Soil Testing and Plant Analysis**. p.389, 1990.

KHANNA, P.K.; RAISON, R.J.; FALKINER, R.A. Chemical properies of ash derived from Eucalyptus litter and its effects on forest soils. **Forest Ecology and Management**. 66, 1994. 107-125p.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C.A. eds. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy. 1965.

KOCHIAN, L.V.; HOEKENGA, O.A.; PIÑEROS, M.A. do crop plants tolerate acid soils Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, 55:459-493, 2004.

LIMA, R. L. S.; SOARES S. L.; BELTRÃO, N. E. M.; FERREIRA, G. B. Efeito da adição de cinza de madeira e esterco bovino no crescimento inicial da mamoneira cultivada em solo ácido. In: **2 CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA**, 2006, Aracajú-SE. p. X-Z.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 1980, 251 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1995. 888p.

MARTINS, F. M. Caracterização Química e Mineralógica de Resíduos Sólidos Industriais Minerais do Estado do Paraná. 2006. 158 p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, UFPR. Curitiba, 2006.

MEDEIROS, J. C. Resíduo Alcalino da Indústria de Papel e Celulose na Correção da Acidez de um Cambissolo Húmico Álico. 2008. 83 p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC. Lages, 2008.

MILLER, W.P.; BAHARUDDIN, M.K. Relationship of soil dispersibility to infiltration and erosion of southeastern soils. **Soil Science**, Baltimore, v.14. 1986.

MILLER, W.P.; FERNKEL, H.; NEWMAN, K.D. Flocculation concentration and sodium/calcium exchange of Kaolinitic soil calays. **Soil Science Society American Journal**, 54:346-351, 1990.

MORO, L.; GONÇALVES, J.L. de M. Efeitos da "cinza" de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. **IPEF**, Piracicaba (48/49): 18-27, 1995.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v.26, n.1, p.31-36, 1962.

NOLASCO, A.M.; GUERRINI, I.A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF. 2000, p. 385-414.

NURMESNIEMI, H.; POYKIO R.; PERAMAKI, P.; KUOKKANEN. The Use of a Sequential Leaching Procedure for Heavy Metal Fractionation in Green Liquor Dregs from a Causticizing Process at a Pulp Mill. **Chemosphere** 61, 1475;1484, 2005.

OSTERAS, A. H.; SUNNERDAHL, I.; GREGER, M. The Impact of wood ash and green Liquor Dregs Application on Ca, Cu, Zn and Cd Contents in Bark and Wood of Norway Spruce. **Water, Air, and Soil Pollution** 166: 17-29, 2005.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. 2 ed. Castro: Fundação ABC, 2004. 86 p.

PAULETTO, E.A.; NACHTIGAL, G.R.; GUADAGNIM, C.A.; Adição de cinza de casca de arroz em dois solos do município de Pelotas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas SP, v. 14, n. 2, p.255-258, 1990.

PRADO, R. M., CORRÊA, M. C. M., NATALE, W., Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. **Acta Scientarum**, Maringá, v. 24, n.5, p. 1493 – 1500 2002.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/Potafos, 1991. 343 p.

REICHERT, J.M.; NORTON, L.D. Fluidized bed combustion bottom-ash effects on infiltration and erosion of variable-charge soils. **Soil Science Society American Journal**, 60:275-282. 1996.

REISSMANN, C.B. Exigências nutricionais nos plantios de *Pinus*. **Rev. da Madeira**, Ed. Especial: *Pinus*, uma alternativa de mercado. Curitiba, v. 12, n. 68. dez. 2002.

REZENDE, A.A.; PASSOS; MATOS, A.T.; SILVA, C.M. Utilização do Efluente de Indústria de Celulose em Irrigação – Uma Revisão. Congresso Internacional de papel e Celulose, São Paulo, 2000.

RODA, L.S.A. Aspectos da poluição causada por indústrias de celulose e papel. In: **ENCONTRO SOBRE A PRODUÇÃO DE CELULOSE NO BRASIL E O MEIO AMBIENTE**, **Anais**. 115-122. 1991, Curitiba.

RODRIGUES, C. M.; BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A.; GOMES, F.S. Alterações na Nutrição e na Produtividade do *Pinus taeda* L. Provocadas pela Aplicação de Resíduo Celulósico. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 51, p. 131-143 jul./dez.2005

ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.K.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 19:1443-1448, 1984.

SANTOS, J.A.G.; SANTOS, A.M.S.; REZENDE, J.O.; COELHO, I.A. ROCHA, E.S.; ROCHA, G.C. Avaliação do potencial corretivo da cinza, oriunda de biomassa vegetal, comparada ao calcário. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 25, 1995, Viçosa. *Resumos Expandidos...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFV, 1995a. p. 1148-1150.

SAS. **Statistical analysis system**. Getting Started with the SAS Learning Edition, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina. 2002. 86p.

SHAINBERG, I.; SINGER, M.J. Drop impact energy-soil exchangeable sodium percentage interactions in seal formation. **Soil Science Society American Journal**, 52:1449-1452, 1988.

SILVA, F. F.; BERTONHA. A.; FREITAS, P.S.L.; MUNIZ, A.S.; FERREIRA, R.C. Aplicação de cinza da casca de arroz e água residuária de fecularia de mandioca na cultura da aveia. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 1, n.1, p.25-36, jan./abr. 2008.

SOFIATI, V.; LIMA, R.L.S.; GLODFARB, M.; BELTRÃO, N.E.M. Cinza de madeira e lodo de esgoto como fonte de nutrientes para o crescimento do algodoeiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v.7. n.1. p.23-41 1980.

STAPPE, J.L. **O uso de resíduos da indústria de celulose como insumos na produção florestal**. IPEF, p.33-37, 1988. Ripasa S.A. - Celulose e Papel - Limeira – SP.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

VOGEL, H.L.M., SCHUMACHER, M.V., ALBERTI, L.F., BARICHELO, L. R., DALLAGO, J. S. Nutrientes na Biomassa de Plantas de Mimosa scabrella Bentham, em função de diferentes doses de cinza de caldeira de biomassa. . In: **Fertbio** 2000, Santa Maria.- Biodinâmica do solo, 2000.